



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUSSI HIEKKANEN
VAIhteiden SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN
KOKOONPANOLÄHTÖISESTI
Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Riitahuhta
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 4.6.2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

HIEKKANEN, JUSSI: Vaihteiden suunnitteluprosessin kehittäminen kokoonpanolähtöisesti

Diplomityö, 90 sivua,

Huhtikuu 2015

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Asko Riitahuhta

Avainsanat: Suunnittelu, kokoonpano, C_DFMA, DFX, DFA, DFM

Tämän työn tavoitteena on tarkastella uuden tuotteen suunnittelua kokoonpantavuuden näkökulmasta. Tutkimuksessa tarkastellaan kokoonpantavuuden eri käsitteitä ja kokoonpanon kannalta huomioitavia seikkoja suunnitteluvaiheessa sekä pyritään löytämään mahdollisia kehityskohteita suunnitteluprosessin kehittämiseksi. Tutkimuksen lähtökohtana on DFMA-menetelmän hyödyntäminen vaihteiden suunnitteluprosessissa ja mahdollisten kehityskohteiden löytäminen suunnitteluprosessissa. DFMA-menetelmä sisältää kokoonpanon ja valmistettavuuden arviointiin soveltuvia menetelmiä sekä analyysien perusteella laadittuja toimintaohjeita

Teoriaosuudessa käsitellään kokoonpanon asettamia vaatimuksia ja reunaehdoja tuotteen suunnittelulle ja esitellään eri metodeja, joiden avulla kokoonpanon huomioiminen jo tuotteen varhaisessa suunnitteluvaiheessa olisi mahdollisimman tehokasta. Tutkimuksessa tarkastellaan toimeksiantajan tämänhetkistä toimintaa ja siinä havaittuja kehitystarpeita ja painotetaan jo olemassa olevan tiedon saamista tehokkaammin suunnittelun käyttöön tuotteen elinkaaren alkuvaiheessa. Tärkeimpiä huomioitavia menetelmiä ovat DFA ja DFM sekä näiden muodostaman DFMA-menetelmän soveltaminen suunnitteluprosessissa.

Soveltavassa osuudessa keskitytään tutkimuksen toimeksiantajan Moventas Santasalo Oy:n vaihesuunnittelun toimintaan. Suunnitteluprosessin toimintaa tarkastellaan kokoonpanolähtöisesti ja esimerkkinä käytetään yrityksen tämänhetkisiä päätuotteita.

Tutkimuksessa havaittiin, että yrityksessä on olemassa tietty toimintatapa, joka sinällään sisältää osa-alueita tutkimuksen lähtökohtana olevista toimintametoodeista. Tutkimuksen aikana nousi esille kehitystarpeita koskien kokoonpanotiedon saamista tuotesuunnittelun käyttöön. Kehitettäessä suunnittelutoimintaa kokoonpanolähtöisesti, on oleellista saada luotettavaa tietoa kokoonpanosta riittävän aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessissa. Liian myöhäisessä vaiheessa saatu tieto jää hyödyntämättä, koska moniportaisessa suunnittelujärjestelmässä päätöksiä joudutaan tekemään ja lyömään lukkoon jo prosessin varhaisessa vaiheessa ja jo vahvistettujen suunnitelmien muuttaminen myöhemmin ei enää ole mahdollista. Tämä seikka huomioden on oleellista lähentää kokoonpanon ja suunnittelun yhteistyötä riittävän varhaisessa vaiheessa ja sopia selkeästä toimintatavasta, jolla kokoonpanohenkilöstön tietotaito saadaan suunnittelun käyttöön.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

HIEKKANEN, JUSSI: Assembly Focused Gears Design Process Development

Master of Science Thesis, 90 pages

April 2015

Major: Production engineering

Examiner: Professor Asko Riitahuhta

Keywords: Design, Assembly, C_DFMA, DFX, DFA, DFM

The purpose of this master's thesis is to examine designing of a new product from the viewpoint of assemblability. This study examines various concepts of assemblability and factors to be acknowledged at the design stage in terms of assembly as well as aims at finding out any development targets in order to improve the design process. The starting point of this study is to utilise the DFMA method in the design process of gearboxes and to find out any development targets in the design process. The DFMA method includes procedures that are applicable to evaluation of assembly and manufacturability as well as directives drawn up on the basis of analyses.

The theory section deals with requirements set by assembly as well as boundary conditions for the design of a product, and presents various methods to help pay attention to assembly in the early stages of designing as effectively as possible. The study examines the current operation of the principal and any development needs noticed therein as well as emphasizes availability of current knowledge more effectively for the use of engineering at the initial stage of the product's lifetime. The most important methods to be considered are DFA and DFM, and application of the DFMA method made up of these two to the design process.

The methodology section focuses on operation of gearbox engineering of the principal, Moventas Santasalo Oy. Assembly is the starting point for examining operation of the design process, and current main products of the company are used as an example.

The study revealed that there already is a certain course of action in place in the company, containing components of the methods examined in this study. During the study, some development needs came up regarding availability of assembly knowledge for the use of the product design. When developing the design process with assembly as the starting point, it is important to get reliable information about assembly at an early stage of the design process. Information that is received too late is left unutilised, because in a multiple-stage design system, decisions must be made and nailed down at an early stage of the process, and changing of confirmed plans later is not possible any more. This factor considered it is important to bring cooperation between the assembly and design departments closer together at an early stage and to agree on a clear course of action to make sure that know-how of the assembly personnel can be accessed by the design department.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Moventas Santasalo Oy:lle. Työn valvojina toimivat Tampereen teknillisen yliopiston tuotantotekniikan laitokselta professori Asko Riitahuhta sekä Moventaksen puolelta diplomi-insinööri Teemu Kukkola. Haluan kiittää heitä ohjauksesta ja neuvoista, joiden avulla työ valmistui. Askolle toivotan hyviä eläkepäiviä mittavan työuran jälkeen.

Lisäksi haluan kiittää Jarno Huikkaa ja kaikkia muita Moventaksen henkilökunnasta, joiden kanssa olen keskustellut ja saanut paljon arvokasta tietoa, joka on helpottanut työn tekemistä.

Suuret kiitokset myös vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet ja kannustaneet minua koko opiskelujen ajan.

Lopuksi erityiskiitokset lapsilleni Eerolle ja Essille.

Jyväskylässä maaliskuussa 2015

Jussi Hiekkanen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Abstract	II
Termit ja niiden määritelmät.....	VI
1 Johdanto	1
1.1 Yritysesittely	1
1.1.1 Wind Gears	3
1.1.2 Industrial Gears.....	3
1.1.3 Service	4
1.2 Moventaksen nykytilanne	4
1.3 Diplomityön lähtökohtien esittely.....	5
1.4 Tutkimuksen tavoitteet.....	5
1.5 Tutkimuksen rakenne ja tutkimusmenetelmät	6
2 DFMA:n määrittely	8
2.1 DFX-metodi	9
2.2 DFA-metodi	10
2.3 DFM-metodi.....	11
2.4 Rinnakkaissuunnittelu	14
2.5 DFMA tekniikan tavoitteet	16
2.6 C_DFMA-ajattelutapa.....	19
2.7 Modulaarisuus	28
2.8 DFMA menetelmän aiheuttama vastustus	29
2.9 Yhteenveto	30
3 Kokoonpano	33
3.1 Liitosmenetelmät.....	34
3.2 Kokoonpantavuus ja sen arviointi.....	36
3.3 Kokoonpantavuuden arviointimenetelmät	40
3.3.1 Tarkistuslistat.....	40
3.3.2 Boothroyd-Dewhurst DFMA	41
3.3.3 Hitachi AEM.....	42
3.3.4 Lucas DFA.....	43
3.3.5 Ohjeistuksen luominen	43
3.4 DFMA-analyysi esimerkki kokoonpanolähtöisesti.....	45
3.5 Yhteenveto	49
4 Vaihteiden kokoonpano	51
4.1 Vaihteen rakenne ja tehtävät	51
4.1.1 Valukomponentit	54
4.1.2 Hammastetut osat.....	55
4.1.3 Standardiosat.....	55

4.1.4	C-osat	55
4.1.5	Voiteluputkitus.....	55
4.1.6	PPLH-2900.1 kokoonpano.....	55
4.1.7	Akseleiden pesu ja laakerointi	56
4.1.8	Etuosan ja kehäpyörän pesu ja kokoonpano	56
4.1.9	Planeetankantajan kokoonpano.....	57
4.1.10	Kotelon valmistelu pääkokoonpanoa varten	58
4.1.11	Pääkokoonpano.....	58
4.1.12	Koeajo ja varustelu	59
4.2	Yhteenveto	60
5	Vaihdesuunnittelun nykytilanne.....	61
5.1	IG ja WG vaihteiden käyttöympäristö	61
5.2	Tulevaisuuden tavoitteet	61
5.3	Vaihteiden suunnittelun lähtökohdat ja toteutus	63
5.3.1	NPI-prosessin sisältö.....	64
5.3.2	Suunnittelukatselmus	69
5.4	Yhteenveto	69
6	vaihteen DFMA-prosessi	70
6.1	DFMA-menetelmä uuden vaihteen suunnittelussa	70
6.2	Uuden tuotteen suunnitteluprosessin organisointi	72
6.2.1	Yhteenveto projektin organisoinnista	73
6.3	Tuulivaihteen voiteluputkitus.....	74
6.3.1	PPLH-2900.1 voiteluputkituksen muutos.....	74
6.4	DFMA-menetelmän huomioiminen NPI-prosessissa	80
7	Kehitysehdotuksia.....	84
8	yhteenveto	87
	Lähteet.....	89

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

CMaS	kunnonvalvontamenetelmä tarjoaa asiakkaalle vaihteen käytönaikaisen kunnonvalvonnan etäpalveluna.
DFA	Design for assembly on kokoonpantavuuden huomioiva suunnitteluperiaate.
DFM	Design for manufacturing on valmistettavuuden periaate.
C_DFMA	Conceptual design for manufacturing and assembly on kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden jo konseptisuunnittelu vaiheessa huomioiva menetelmä.
DFMA	Design for assembly and manufacturing on kokoonpantavuuden ja valmistuksen suunnittelun menetelmä.
IG	Industrial Gears, Moventaksen teollisuusvaihdetuotannon yksikkö.
WG	Wind Gears, Moventaksen tuulivaihdetuotannon yksikkö.
Rinnakkaissuunnittelu	Concurrent engineering. Periaate, jossa tuotteen suunnittelu toteutetaan yhteistyössä samanaikaisesti eri sidosryhmien kesken.
NPI-prosessi	New product introduction). Menetelmä sisältyy vaihteen suunnitteluprosessiin ja sen aikana pyritään huomioimaan sekä tuotesuunnittelu- että tuotannollistamisprosessi.
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi.
QAP	Quality action plan, Laatusuunnitelma.
Make or By	Analyysi jolla kartoitetaan kannattako tuote valmistaa itse vai hankkia toimittajalta.

1 JOHDANTO

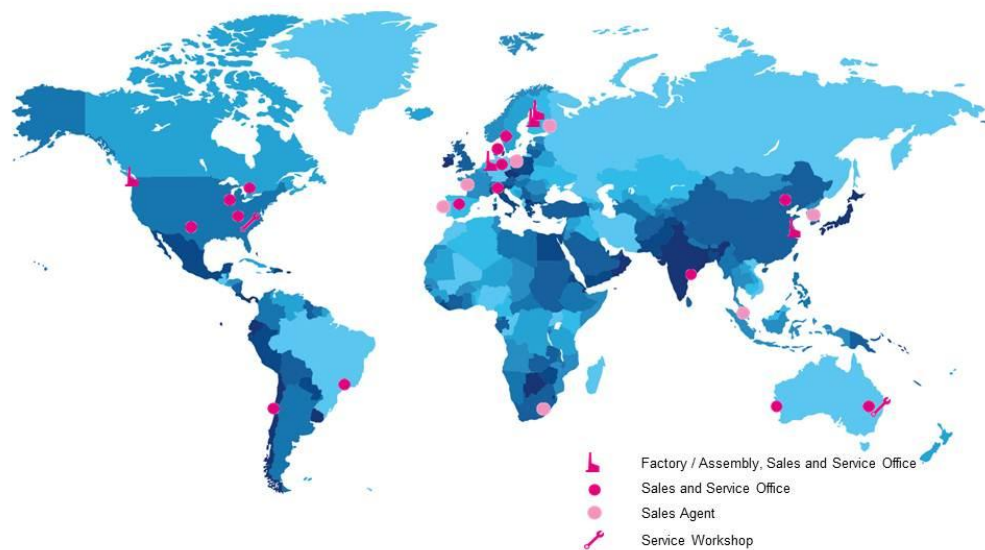
Tämä diplomityö tehdään Moventas Gears Oy:n toimeksiantamana ja siinä pyritään kartoittamaan mahdollisia kehityskohteita, joiden avulla saataisiin vaihdetuotantoon parempi mukautumiskyky markkinoiden tarpeet huomioiden. Parin viimeisen vuoden aikana yritys on kokenut suuria haasteita toiminnan kannattavuuden säilyttämisessä ja yritys on joutunut tekemää merkittäviä toimenpiteitä, jotta toimintaedellytykset yritys-toiminnan jatkamiseksi ovat säilyneet. Vaikeiden aikojen vaikutus nykyiseen toimintaan on joissain asioissa edelleen nähtävissä. Toiminnan kannattavuuden varmistamiseksi, yritys pyrkii optimoimaan toimintansa tehokkuuden ja täten takaamaan paikkansa markkinoilla.

Avainasemassa toiminnan tehokkuuden tavoittelussa on se, että asiakkaalle pystytään tarjoamaan riittävän laaja tuotevalikoima ja valmistamaan tuotteet kustannustehokkaasti. Tuotevalikoiman laajuus lisää tarvittavien komponenttien määrää, mutta toisaalta kustannusmielessä olisi parempi, että tuotevalikoima olisi varioitavissa mahdollisimman suppeasta osamäärästä. Toisin sanoen, eri vaihdetyyppien valmistamiseen tarvittavien komponenttien määrä tulisi saada mahdollisimman alhaiseksi. Lisäksi olisi tuotannon kannalta edullista, jos sama osa soveltuisi useampaan eri vaihdetyyppiin. Tällä saavutettaisiin etuja mm. toimitusaikojen, logistiikan ja varastoinnin suhteen.

Diplomityön aihealueen rajauksessa huomioitiin yrityksen tämänhetkiset päätuotteet. Tutkimus käsittelee sekä tuuliturbiinivaihteiden että teollisuusvaihteiden valmistamista.

1.1 Yritysesittely

Moventas Gears Oy valmistaa mekaanisia voimansiirtoratkaisuja eri teollisuuden alojen tarpeisiin. Yrityksen toiminta jakautuu pääliiketoiminta-alueisiin, joita ovat tuuliturbiinivaihteet (Moventas), teollisuusvaihteet (Santasalo). Kumpikin osa-alue tarjoaa myös erilaisia huoltotoimintoja sekä omien tuotteiden että muiden valmistajien vaihteille. Asiakaskunta koostuu esimerkiksi tuulivoimateollisuudesta, sellu- ja paperiteollisuudesta sekä kaivosteollisuudesta. Yrityksellä on noin 900 työntekijää 13 maassa sekä lisäksi maailmanlaajuinen yhteistyökumppaniverkosta. Moventas on osa maailmanlaajuisista teollisuusryhmää Clyde Blowersia. Kuvassa 1.1. on esitetty Moventaksen toiminta-alueet globaalisti.



Kuva 1.1. Moventaksen toimipisteet. (<http://www.moventas.com/this-is-moventas>)

Moventas Gears Oy on yksi maailman johtavia mekaanisen voimansiirron tuottajia. Yrityksen päätuotteena ovat raskaaseen teollisuuskäyttöön suunnatut vaihderatkaisut. Yrityksen päätuotantosuunnat voidaan jakaa kahteen suurempaan kokonaisuuteen: tuuliturbiinivaihteet ja teollisuuden aloille suunnatut vaihteet. Suuri osa muista kuin tuuliturbiinivaihteista menee erilaisiin sovelluksiin mm. metsäteollisuuden piiriin sekä kaivos-teollisuuden tarpeisiin. Nämä kaksi päätuotealuetta jaetaan omiin lohkoihinsa: wind gears (WG) sekä industrial gears (IG). Jatkossa tässä diplomityössä käytetään näistä kahdesta päätuotealueesta niiden edellä mainittuja lyhenteitä. Kolmas yrityksen liiketoiminta –alue on jälkimarkkinointi, johon sisältyy huoltotoiminta (Service). Huolto-toiminta kattaa sekä teollisuus- että tuuliturbiinivaihteiden palvelut. Kuvassa 1.2. on kuvattu nykyisen Moventaksen syntyhistoria.



Kuva 1.2. Moventaksen muodostuminen. (Moventas Gears, 2014)

1.1.1 Wind Gears

Tuuliturbiinivaihteiden valmistuksen historia juontaa juurensa 1980-luvulle, jolloin silloinen Rautpohjan hammasvaihdetehdas laajensi toimintaansa uudelle energiatuotannon alalle ja rupesi toimittamaan vaihteita tuulivoimaloihin. Alkuaikojen vaihteen olivat nykyisiin tuotteisiin verrattuna varsin pieniä, teholtaan 50-200kW:n suuruisia. Alkuaikoina tuulivaihteita toimitettiin pääasiassa Tanskaan. Vuosien saatossa Rautpohjan tehtailla tapahtui useita organisaation muutoksia, joiden seurauksena nykyinen Moventas Gears Oy syntyi.

Tuulivoiman kysynnän kasvu loi markkinat, joiden tarpeisiin Moventas pyrki vastaamaan mahdollisimman kattavasti. Yritys panosti tuotannon kehittämiseen ja teki merkittäviä investointeja tuulivaihdetuotannon volyymiin kasvattamiseksi. Jyväskylään perustettiin toinen tehdas (Ikola), jonka päätuotealueeksi muodostuivat tuuliturbiinivaihteet.

1.1.2 Industrial Gears

Teollisuusvaihteiden valmistuksella on Moventaksella huomattavasti tuulivaihteita pidemmät perinteet. Yrityksen historia ulottuu jo 1900-luvun puoliväliin, jolloin hammasvaihdetehdas oli osa Rautpohjan tehtaan organisaatiota. Vuosien saatossa organisaatio muuttui ja vuonna 1974 hammasvaihdetehdasta tuli itsenäinen, tulosvastuullinen voimakoneosasto, joka vastasi myös muista Rautpohjan konepajatuotteista paperi- ja lastulevykoneita lukuun ottamatta. 1970-luvun puolivälissä hammasvaihdetehdas alkoi lisä-

tä markkinointiaan myös ulkomaille ja laajasti kotimaan markkinoille. Laivavaihteiden valmistus oli aloitettu jo vuonna 1969, mutta alkuvaiheessa yrityksen omat resurssit hammaspyörien valmistamiseen olivat rajalliset koneiden pienestä koosta johtuen, joten vuonna 1973 hammasvaihdetehdas solmi yhteistyösopimuksen Saksalaisen Renk AG:n kanssa. Solmittu yhteistyösopimus mahdollisti Renkin planeettavaihteiden patenttien ja kokemuksen käyttämisen, mikä osaltaan edesauttoi oman erityisesti paperikoneisiin soveltuvan planeettavaihdesarjan kehittämisessä. Ajan myötä yhteistyö Renkin kanssa osoittautui erittäin hyväksi ja niinpä 1983 yhtiöiden välillä solmittiin uusi yhteistyösopimus. Kannattavan toiminnan seurauksena hammasvaihdekehittäjästä tuli Skandinavian suurin laiva- ja teollisuusvaihteiden valmistaja. (Jokinen, J. Tykki taipui paperikoneeksi. Jyväskylä 1988, Gummerus Oy. 291.) Nykyisin teollisuusvaihteiden valmistus keskittyy erilaisten vaihdekonseptien toimittamiseen esimerkiksi paperiteollisuuden tarpeisiin ollen yksi johtavista paperi- ja kartonkiteollisuuden vaihdetoimittajista. Myös kaivosteollisuus hyödyntää Moventaksen vaihteita eri sovelluksissa. (Movenas Gears & Service, 2014)

1.1.3 Service

Huoltoliiketoiminta keskittyy vaihteiden huoltamiseen sekä asiakkaan luona että Moventaksen tiloissa Jyväskylässä. Service toimintaa kuuluu myös erilaiset testaukset ja kunnonvalvontatoiminnot, joilla palvelua laajennetaan tuotteen koko elinkaaren eri vaiheiden ajalle. Moventaksen kehittämä CMaS kunnonvalvontamenetelmä tarjoaa asiakkaalle vaihteen käytönaikaisen kunnonvalvonnan etäpalveluna, jolloin yrityksen rooli ei pääty vaihteen toimittamiseen. CMaS-järjestelmän avulla pyritään ennakoimaan tulevat huoltotarpeet ja ehkäisemään suunnittelemattomat katkot tuuliturbiinien toiminnassa. CMaS on reaaliaikainen kunnonvalvontajärjestelmä, joka voidaan asentaa jo toimitettuihin vaihteisiin jälkiasennuksena tai uusiin vaihteisiin kokoonpanon yhteydessä. (Movenas Gears & Service, 2014)

1.2 Moventaksen nykytilanne

Viimeisten parin vuoden aikana Moventas on joutunut tekemään toiminnassaan suuria muutoksia ja sopeuttamaan toimintaansa markkinoiden taantumaa. Juuri ennen lamaa tehdyt suuret investoinnit ovat lisäksi vaikuttaneet osaltaan nykyiseen toimintaan ja sen järjestämiseen. Uuden omistajan myötä tilanne helpottui ja toiminnan jatkamiselle oli jälleen edellytykset. Viimeisimmät muutokset yrityksessä toteutettiin vuoden 2014 alussa. Tällöin teollisuusvaihteiden ja tuulivaihteiden valmistaminen jaettiin kahdeksi eri osa-alueeksi.

1.3 Diplomityön lähtökohtien esittely

Diplomityön tavoitteena on kartoittaa valitun kohdealueen sisältä mahdollisia kehitys- ja parannuskohteita, joiden avulla tuotannon tehokkuutta ja täten myös yrityksen kilpailukykyä kohteena olevalla teollisuuden alalla saataisiin nostettua. Kustannustehokkaan toiminnan varmistamiseksi parannusta pyritään löytämään jo olemassa olevien resurssien tehokkaammasta ja tarkoituksenmukaisemmasta käytöstä. Vaihdekonstruktioiden tarkoituksenmukaisuutta tarkastellaan ja pyritään kartoittamaan mahdollisuuksia toteuttaa nyt käytössä olevat konstruktiot korvaavilla, mahdollisesti yksinkertaisemmilla ja kustannustehokkaammilla rakenteilla. Esimerkiksi erilaisten liitosten määrän optimointi ja käytettävät liittämismenetelmät ovat keskeisellä sijalla tarkasteltaessa konseptien kokoonpanoa. Tutkimuksen tavoitteena on löytää kohteita, joiden toteuttaminen voitaisiin tehdä mahdollisesti yksinkertaisemmalla tavalla ja vähentää tarvittavia työvaiheita ja samalla käyttää jo olemassa olevia ratkaisuja laajemmalla alueella.

Täysin uusien komponenttien suunnittelun sijaan työssä keskitytään löytämään toimintatapoja ja periaatteita, joiden avulla suunnitteluprosessin alkuvaihetta voitaisiin tehostaa hyödyntämällä jo olemassa olevia ratkaisuja. Lisäksi työssä pyritään laatimaan toimintaohjeita, jotka osaltaan auttaisivat suunnitteluprosessin eteenpäin viemisessä ja suunnittelun ja kokoonpanon välisen tiedonkulun parantamisessa.

Yrityksen valmistamien erilaisten vaihdetyyppien suuresta määrästä johtuen, kohdealue on rajattu siten, että tutkimuksen loppuosan analysointivaiheessa esimerkkinä käytetään vaihdetyyppeä PPLH-2900.1, joka on tuuliturbiinivaihte. Kyseinen vaihdetyyppi on teholtaan 3MW. Tällä hetkellä kyseinen vaihte tyyppi on Moventaksen tärkein tuoteartikkeli.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Moventaksen valmistamien vaihteiden markkinatilanne on viimeisten vuosien aikana vaihdellut melko suuresti. 2000-luvun alkupuolelle tuuliturbiinivaihteiden menekki oli erittäin korkeaa ja alalla oli havaittavissa nouseva trendi. Tuulivoiman tulevaisuus näytti erittäin valoisalta ja yrityksen kasvuodotukset olivat korkealla. Tässä vaiheessa yritys myös investoi varsin voimakkaasti mm. uuteen vaihdetehtaaseen Jyväskylän eteläpuolella. Vuoden 2009 paikkeilla alkanut taloudellinen lama aiheutti kuitenkin ongelmia kysynnän hiipuesssa ja toisaalta juuri tehdyt suuret investoinnit rasittivat yrityksen taloutta.

Tutkimuksessa tarkastellaan vaihteiden kokoonpanon ja suunnittelun välistä toimintaa ja pääpaino eri vaihdetyypeistä on tuulivaihteiden kokoonpanolla. Kohdealue valittiin yrityksen tutkimuksen aikaisen tilanteen perusteella, jossa tuulivaihteiden valmistuksella on merkittävä rooli tuotetarjonnassa. Valitun kohdeaineiston valmistusprosessissa on lukuisia eri vaiheita ja täten myös mahdollisia kehityskohteita löytyy suuri määrä. Tutkimuksen rajaaminen olennaiseen on täten erittäin tärkeää, jotta tuloksena olisi mahdollisimman tiivis ja yrityksen toiminnan kehittämisen kannalta järkevä koko-

naisuus. Tutkimuksen aikana yrityksessä toteutettiin suuria organisatorisia muutoksia, jotka vaikuttivat myös vaihteiden kokoonpanon toteuttamiseen yrityksen Suomen tehtailla. Tällä toiminnan muutoksella oli jossain määrin vaikutusta myös tämän diplomityön aiheen käsittelyyn. Tutkimuksen alkuperäistä tavoitetta ja rajausta muutettiin siten, että pääpaino tutkimuksessa on suunnittelutoiminnan ja vaihteiden kokoonpanon välisen toiminnan ja yhteistyön kehittämisessä. Aiemmin kaavailtu IG ja WG puolien keskinäinen vertailu ei ollut enää muuttuneessa tilanteessa ajankohtainen.

Diplomityön aihealueen rajauksessa huomioitiin yrityksen tämänhetkiset päätuotteet ja ennen kaikkea tuuliturbiinivaihteiden valmistus. Viime vuosien aikana yrityksessä on tapahtunut suuria muutoksia. Yritys on siirtänyt toimintojaan toimipisteiden välillä Suomessa ja tämä on tuonut mukanaan muutoksiin liittyneet alkuvaikeudet tuotannossa ja sen tehokkaassa toteuttamisessa. Yrityksen tuotekehitysprojektien määräänä tekijänä on aiemmin ollut pääsääntöisesti tuotteen optimointi yhdelle asiakassovellukselle kerrallaan ja siitä johtuen tuotteiden eri variaatioiden määrä on kasvanut varsin suureksi (T. Krankkala).

Jatkossa tavoitteena on panostaa yrityksessä tuote - platformeihin, jotka mahdollistavat saman tuotteen tai sen osan käyttämisen mahdollisimman monessa eri sovelluksessa. (T. Krankkala)

Tutkimuksessa tarkastellaan kokoonpanon huomioimista jo tuotteen suunnitteluvaiheessa ja siihen liittyvää teoriaa. Teorian pohjalta tarkastellaan vaihteiden kokoonpanoa pääpainon ollessa PPLH-2900.1 vaihteen kehittämisessä. Tutkimuksessa keskitytään jo olemassa oleviin rakenteisiin ja niiden yhdenmukaistamiseen mahdollisimman tehokkaasti.

1.5 Tutkimuksen rakenne ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen alussa kartoitetaan vaihteiden valmistuksen eri vaiheet ja verrataan eri vaihdetyyppien keskinäisiä eroja tuotannon näkökulmasta. Työssä tarkasteltiin ongelmakohtia vaihteiden tuotantoprosessissa ja aiheen tarkastelussa painotettiin DFMA-näkökulmaa.

Vaihteiden valmistuksen eri vaiheissa ilmenevät ongelmat pyritään kartoittamaan ja löytämään niiden ratkaisemiseksi menetelmiä ja periaatteita, joiden avulla voitaisiin vaikuttaa suunnitteluvaiheessa tuotteen kokoonpanon toteutuksessa mahdollisesti eteen tuleviin ongelmiin. Kokoonpanon kannalta vaikuttavia asioita ovat mm. osien määrä sekä keskenään erilaisten komponenttien määrää eri vaihdetyyppien välillä. Teoriaosuudessa käsitellään menetelmiä, joiden avulla voidaan tehostaa ja optimoida yrityksen valmistamien asiakasräätälöityjen tuotteiden valmistusta.

Tutkimusmenetelmänä käytetään pääasiallisesti yrityksen eri osa-alueiden avainhenkilöiden haastatteluja ja valmistuksen käytännön toteutuksen kartoittamista. Vaihteiden rakenteellisen tutkimisen lähtökohtana käytetään yrityksen tuotannonohjausjärjestelmästä saatavaa tietoa sekä eri osastojen hallinnoimaa teknistä dokumentaatiota.

Kartoitettaessa vaihteiden rakenteellisia ominaisuuksia hyödynnetään suunnitteluosaston henkilökunnan tietämystä sekä dokumentteja.

Luvuissa 2-4 käsitellään teorioita, joiden pohjalta tämä diplomityö on tehty. Luvuissa tarkastellaan keskeisiä valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden periaatteita perustuen asiasta tehtyihin tutkimuksiin. Lisäksi asian havainnollistamiseksi esitellään joitakin käytännön esimerkkejä. Luvuissa käsitellään teollisten tuotteiden valmistuksessa tapahtuneita muutoksia viime vuosina ja muutoksien aiheuttamia vaikutuksia tuotteiden suunnittelun ja valmistuksen näkökulmasta.

2 DFMA:N MÄÄRITTELY

Viimeisten kymmenen vuoden aikana tapahtuneet muutokset maailmankaupassa ovat tuoneet yrityksille uusia mahdollisuuksia hyödyntää uusia markkinoita globaalisti ja saavuttaa näin esimerkiksi kustannussäästöjä alhaisempien työvoimakustannusten muodossa. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisuutta teettää työtä halvemmissa maissa ja tuotantoalueilla. Lopullinen tuote saattaa lopulta koostua hyvin monessa eri maassa valmistetuista osista. Toimintaympäristön laajeneminen globaalisti tuo mukanaan yrityksen kannalta monia etuja, koska ympäristön laajenemisen myötä myös kilpailu kiristyy, mikä sinällään saattaa vaikuttaa valmistuksen kustannuksiin laskevasti. Ilmiöllä on toisaalta kääntöpuolensa, jolloin vaikutukset voivat olla myös negatiivisia esimerkiksi tuotteiden laadun suhteen. Informaatioteknologian ja internetin kehitys ovat tuoneet mukanaan lukuisia mahdollisuuksia tiedon hankkimiseen ja sen leviämiseen globaalisti. Tämän seurauksena myös tuotetarjonnan kartoittaminen ja yhteistyön tekeminen eri yritysten välillä on muuttunut ratkaisevasti. Yritykset pyrkivät keskittymään omaan ydin osaamiseensa ja ulkoistamaan tuotantoketjusta sellaisia osa-alueita, joiden teettäminen alihankintana tulee kustannustehokkaammaksi. Globaalin toiminnan helpottuessa myös negatiiviset ilmiöt ovat lisääntyneet ja se tuo omat haasteensa yritysten toiminnalle. Tiedon hankkimisen helpottuessa esimerkiksi kilpailevan yrityksen tuotetietojen hankkiminen on erittäin helppoa ja täten saatujen tietojen pohjalta niiden siirtäminen omiin tuotteisiin on helpottunut merkittävästi. Tämä sinällään vähentää kilpailuedun saamista tuotedifferoinnin avulla. (Huhtala, Petri et al. Tuotettavuuden kehittäminen 2009)

Valmistuksen huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa alkoi merkittävämminkin kehittyä 1980-luvulla. Tuolloin käyttöön otettiin systemaattisia tekniikoita, joiden avulla tuotetta pyrittiin kehittämään valmistusystävällisemmäksi. Alussa tekniikat keskittyivät pääasiallisesti osavalmistukseen ja osien vähentämiseen ja kokoonpanon huomioiminen oli varsin vähäisessä roolissa. DFMA-menetelmän myötä tuotteen kokonaisuuteen alettiin kuitenkin kiinnittää enemmän huomiota. (Lapinleimu, Ideaalitehdas 2007)

DFMA-termi tulee sanoista Design for Manufacture and Assembly. Se tarkoittaa tuotteen suunnittelua siten, että jo suunnitteluvaiheessa huomioidaan lopputuotteen mahdollisimman helppo valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Suunniteltaessa uutta tuotetta tulee suunnittelijoiden huomioida jo suunnitteluvaiheen alkumetreillä mahdollisesti myöhemmin eteen tulevat ongelmat, jotka vaikeuttavat osien valmistusta ja kokoonpantavuutta. Myöhempien vaiheiden huomiointi jo suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää, koska valtaosa tuotteen lopullisista kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa.

DFMA kuuluu DFX-kokonaisuuteen ja se yhdistää kaksi seuraavassa esiteltyä käsitettä.

- DFM, design for manufacturing
Osien valmistettavuus ja sen huomioiminen suunnittelussa
 - DFA, design for assembly
Kokoonpantavuus ja sen huomioiminen suunnittelussa
- (Ilkka Lapinleimu, Ideaalitehdas 2007)

DFA ja DFM ovat menetelminä melko lähellä toisiaan ja osittain niissä hyödynnetään samoja menetelmiä ja periaatteita. Tässä kappaleessa tarkastellaan sekä DFA:n että DFM:n periaatteita ja pyritään luomaan hyvä yleiskuva kyseisten menetelmien tärkeimmistä periaatteista ja niiden vaikutuksesta suunnittelun toteuttamiseen ja menetelmien tarjoamiin mahdollisuuksiin pyrittäessä luomaan optimaalinen tuote tuotannon kannalta.

2.1 DFX-metodi

DFX-menetelmä tarkoittaa menetelmää, jossa tuotteen suunnittelussa huomioidaan tietty näkökulma, jonka perusteella ja ehdoilla suunnittelu pyritään mahdollisimman pitkälle toteuttamaan. Näkökulmia, joiden ehdoilla suunnittelua aletaan viemään eteenpäin, on useita erilaisia eikä niitä ole rajattu. DFX on lyhenne sanoista Design for X, josa X voi tarkoittaa lukuisia eri näkökulmia. Näitä näkökulmia voivat olla mm. assembly, manufacturability, welding, service jne. Tässä tutkimuksessa keskityttiin DFA- ja DFM-näkökulmaan. Näitä menetelmiä käytetään nykyisin pääasiallisesti yhdessä. Ilkka Lapinleimun mukaan tämä on varsin perusteltua osaoptimoinnin välttämiseksi. Tutkimuksen tilaajana toiminut Moventas Gears halusi painottaa nimenomaan kokoonpanon huomioimista suunnitteluvaiheessa.

Yksi ensimmäisistä teollisista yrityksistä, joka sovelsi tuotannossaan DFX-metodien käyttämistä, oli autonvalmista Henry Ford. Yrityksen varhaiset automallit sisälsivät tuolloisiin kilpailijoihinsa verrattuna huomattavasti vähemmän osia.

2.2 DFA-metodi

DFA näkökulma keskittyy kokoonpanovaiheeseen ja sen huomioimiseen jo suunnitteluvaiheessa siten, että kokoonpanovaiheessa välttyttäisiin ylimääräiseltä työltä, joka aiheuttaa aina kustannuksia. Kokoonpanon kannalta olisi oleellista minimoida esimerkiksi osien lukumäärä, eri kiinnitysten määrä, kokoonpantavan komponentin liikuttelu ja kääntäminen. Tuotteen suunnittelussa tulisi ensin soveltaa DFA-metodia.

Kokoonpanon huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa on siksi tärkeää, että tuotteen suunnittelu pelkästään valmistettavuuden ehdoilla saattaa johtaa tilanteeseen, jossa lopputuotteen kokoaminen on käytännössä lähes mahdotonta. Mainittujen kahden käsitteen sisäistäminen ja merkityksen ymmärtäminen koko tuotteen valmistusprosessille on tärkeää pyrittäessä minimoimaan ongelmat, joita mahdollisesti esiintyy siirryttäessä suunnitteluvaiheesta itse valmistukseen.

DFA-metodin kehittäminen ja tutkiminen on saanut alkunsa jo 1960- luvulla, jolloin Geoffrey Boothroyd alkoi tutkia aihetta yhdessä alan kollegoidensa kanssa. Sittenkin aihetta on tutkittu laajasti, mutta Boothroydin asemaa kyseisen metodin tutkimisessa pidetään edelleen merkittävänä ja useissa alan tutkimuksissa viitataan edelleen hänen tekemiin havaintoihinsa. (Whitney 2004, s 380)

Tutkimusten mukaan kokoonpanon kehittämisestä DFA:n periaatteiden mukaisesti on saavutettu hyvinkin merkittäviä säästöjä:

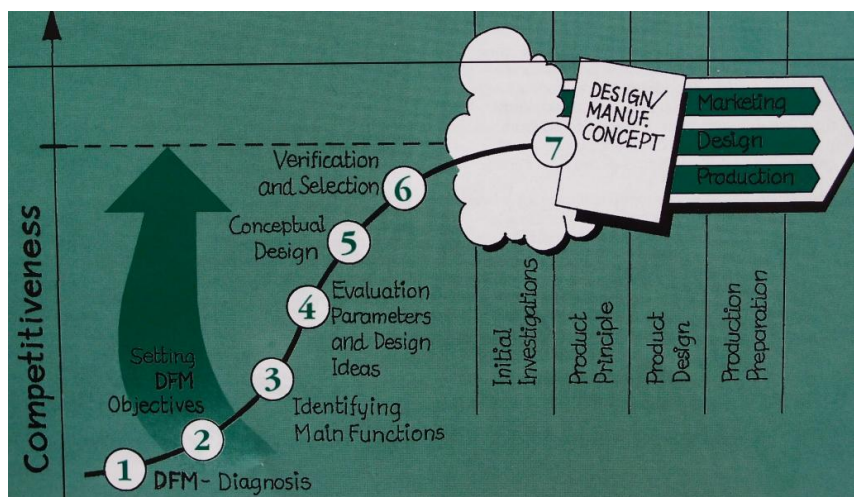
- 56% vähemmän osia
 - 62% lyhyempi kokoonpanoaika
 - 45% pienemmät kokoonpanokustannukset
 - 50% pienemmät kokonaiskustannukset
 - 72% pienemmät kiinnittimien lukumäärät
 - 54% vähemmän kokoonpanotoimintoja
 - 45% lyhyempi kehityssykli
- (Curtis, M., Boothroyd, D., 2002, DFMA(R) and JCB excavators, 1-9)

2.3 DFM-metodi

DFM näkökulma painottaa valmistettavuuden näkökulmaa ja se keskittyy niihin asioihin ja tekijöihin, joiden avulla tuotteesta pyritään saamaan mahdollisimman yksinkertainen ja helposti valmistettava. Tällöin oleellista on konstruktion kehittäminen siihen suuntaan, että se tuote koostuu mahdollisimman pienestä määrästä eri osia. Toisin sanoen pyritään suunnittelemaan tuote siten, että sen valmistaminen sisältäisi mahdollisimman vähän eri työvaiheita. Lisäksi valmistettavuuden kannalta on tärkeää välttää tarpeettomien toleranssien käyttämistä ja ”turhaa tarkkuutta” kohteissa, joissa se ei ole perusteltua ja tuotteen toiminnan kannalta tarpeellista.

Toisaalta tulee kuitenkin huomioida se, että osien vähentäminen saattaa puolestaan aiheuttaa jäljelle jäävien osien muotoon sellaisia vaatimuksia, että koneistusnäkökulmasta asia hankaloituu.

DFM:n hyödyntämistä tuotekehityksessä on käsitelty monissa julkaisuissa. Finn Fabricius, Design for Manufacture (2003) käsittelee DFM:n käyttöönottoa ja menetelmiä. Kirjassa DFM:n soveltaminen esitetään siten, että se sisältää seitsemän eri vaihetta, joiden avulla menetelmää viedään eteenpäin. Kirjassa menetelmä painottaa ajatusta, jonka mukaan ensin tulisi tehdä oikeita asioita ja sen jälkeen asiat tulisi tehdä oikein. Ajatusta havainnollistetaan kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. DFM-periaate kirjan Design for Manufacturing mukaisesti. (Fabricius 2003)

Fabriciuksen kirjassa painotetaan sitä, että ensin tulisi tunnistaa kaikki oleelliset asiat, jotka vaikuttavat tuotteen kokoonpantavuuteen ja valmistettavuuteen. Tärkeintä on löytää juuri ne asiat, joiden tekeminen hyvin ja tehokkaasti edesauttaa tuotteen valmistuksen sujumista mahdollisimman tehokkaasti. Oleellista on pyrkiä karsimaan sellaiset asiat, joiden vaikutus kokonaisuuteen on vähäinen eli tarkoitus on toisaalta myös välttää turhan työn tekemistä vaiheissa, joissa siitä ei lopputuloksen kannalta ole mainittavaa

hyötyä. Turhan työn tekeminen ei ole järkevää, koska se aiheuttaa lisää kuluja, mikä taas pienentää lopullista tulosta kaupallisessa mielessä. Kuvassa 2.1. esitetty seitsenportainen ohjelma sisältää seuraavat vaiheet:

Vaihe 1.

Tuotteen vertailu muihin tällä hetkellä markkinoilla oleviin vastaaviin tuotteisiin sekä tuotteen valmistettavuuden analysointi.

Vaihe 2.

Tavoitteiden asettaminen eri osa-alueille:

- tuotantokustannukset
- laatu
- joustavuus
- riski
- läpäisy aika
- tehokkuus
- ympäristövaikutukset

Vaihe 3.

Tärkeimpien tehtävien tunnistaminen.

Vaihe 4.

Päätehtävien suunnitteluideoiden arviointiparametrien selkeyttäminen jakaantuen neljään painopistealueeseen: yritys, tuoteperhe, rakenne ja komponentit.

Vaihe 5.

Konseptuaalisen suunnittelun aloittaminen DFM ideoiden pohjalta.

Vaihe 6.

Konseptisuunnittelun tuloksien vertailu kohdassa 2. esitettyjen tavoitteiden kannalta ja parhaan konseptin valitseminen.

Vaihe 7.

Konseptin käyttöönottoaminen.

Edellä mainittujen seitsemän kohdan toteuttamisessa vaiheet 1-4 pyrkivät auttamaan oikeiden asioiden tekemisessä ja jälkimmäiset vaiheet 5-7 keskittyvät siihen, että valitut asiat tehdään oikein. Kokonaisuutena pyritään siihen, että kohdassa 2. asetetut tavoitteet toteutuisivat siinä ratkaisussa, joka valitaan kohdassa 7. (Fabricius 2003)

DFA ja DFM menetelmien käyttäminen vaikuttaa osaltaan suunnitteluun kuluvaan aikaan ja siksi olisi myös huomioitava menetelmien käyttö tästä näkökulmasta. Suunnittelun viemä aika tulisi huomioida sen kannalta kuinka paljon aikaa on käytettävissä kokonaisprosessi huomioiden. Toisin sanoen, mikäli kyseessä on tuote, jonka valmistusmäärä on melko pieni ja käytettävissä oleva suunnittelu-aika on rajallinen, tulee tällöin harkita tarkoin kuinka perusteellinen kartoitus edellä esitetyn 7-vaiheisen menetelmän pohjalta on järkevää tehdä. Mikäli suunnittelu-aikaa on enemmän ja valmistettava tuote on valmistusmääriltään suuri, voidaan tällöin soveltaa esitettyä menetelmää huomattavasti laajemmin, ilman, että itse suunnittelun osuus kokonaisuudesta nousee liian isoksi. Taulukossa 2.1. on esitetty DFA/DFM menetelmien käyttöä huomioiden käytössä oleva aika. Taulukko on muokattu Whitney esitykseen perustuen ja siinä on esitetty eri tilanteissa huomioitavia seikkoja, jotka osaltaan vaikuttavat tuotteen suunnittelussa tarvittavaan aikaan.

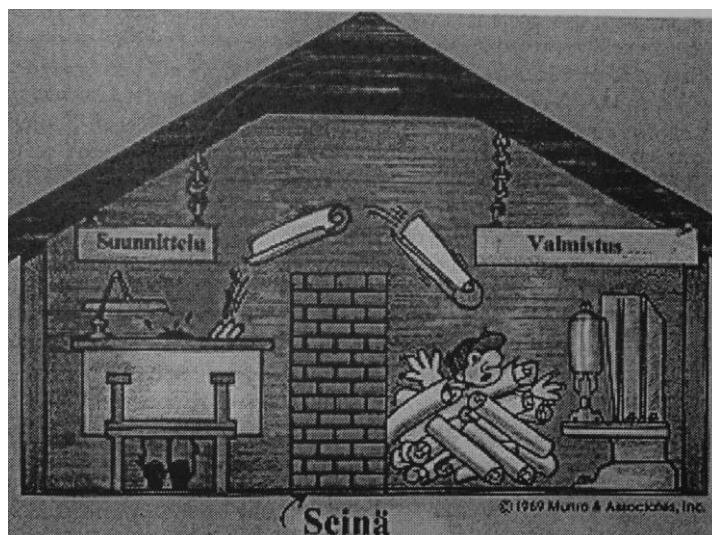
Taulukko 2.1. DFA/DFM menetelmien käyttö käytettävissä oleva aika huomioiden. (Whitney, D. 2004. Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development. New York. Oxford University Press.)

	Alhainen tuotantovolyymi	Korkea tuotantovolyymi
Kun suunnittelu-aika on kriittinen	<ul style="list-style-type: none"> vältä pitkäkestoista koneistusta käytä standardikomponentteja minimoi riskit valmistuksessa 	<ul style="list-style-type: none"> pyri yksinkertaiseen rakenteeseen monimutkaisissa osissa tulee käyttää nopeita valmistusmenetelmiä
Kun Suunnittelu-aika ei kriittinen	<ul style="list-style-type: none"> vältä kallista koneistusta standardikomponenttien käyttö suunnittelu-aikaa tärkeämpiä ovat muut tekijät 	<ul style="list-style-type: none"> yhdistä ja pyri integroituihin osiin automaattisen kokoonpanon hyödyntäminen

2.4 Rinnakkaissuunnittelu

Aiemmin suunnittelu on perinteisesti edennyt siten, että suunnitteluvaihe viedään hyvin pitkälle ennen kuin tuotanto pääsee käsiksi toteutettavaan konstruktion. Suunnittelu on siis toteutettu vaihe kerrallaan jolloin seuraava vaihe otetaan työn alle vasta siinä vaiheessa kun edellinen vaihe on saatu päätökseen. Tämä menetelmä on aiheuttanut sen, että jokaisessa vaiheessa tehdyt päätökset sitovat myös seuraavaa vaihetta ja samalla myös rajoittavat seuraavan vaiheen käytössä olevia mahdollisuuksia.

Tästä on seurannut se, että tuotantovaiheen ongelmat tulevat eteen vasta siinä vaiheessa kun suunnitelma on jo pitkälti lyöty lukkoon. Ongelmien havaitseminen vasta tuotantovaiheessa aiheuttaa sen, että havaitut ongelmat joudutaan ratkaisemaan varsinaisen suunnitteluvaiheen jälkeen, mikä puolestaan lisää ylimääräisen työn määrää ja toisaalta nostaa kustannuksia kun jo olemassa olevia suunnitelmia joudutaan muuttamaan. Pahimmassa tapauksessa tuotantovaiheessa havaitaan ongelmia, jotka voivat jopa estää koko valmistamisen tai ainakin merkittävästi hankaloittaa esimerkiksi kokoonpanovaihetta. Tätä suunnittelutapaa on kutsuttu myös ”seinän yli” lähestymiseksi. Termillä viitataan toimintatapaan, jossa suunnittelija istuu seinän toisella puolella ja heittää jo valmiit suunnitelmat toiselle puolelle tuotannon toteutettaviksi. Tällöin tuotanto pääsee vasta tässä vaiheessa tarkastelemaan tehtyä suunnitelmaa ja sopeuttamaan oman toimintansa sen mukaiseksi. Kuvassa 2.2. on esitetty havainnollisesti kyseisen menetelmän toimintaperiaate pähkinänkuoressa.



Kuva 2.2. ”Seinän yli suunnittelu” (Boothroyd et.al. 1994, s.2)

Edellä mainittua ongelmaa voidaan ehkäistä toteuttamalla suunnittelu siten, että jo suunnitteluvaiheessa tehdään yhteistyötä valmistuksen kanssa, jotta myöhemmin valmistusvaiheessa eteen tulevat ongelmat osattaisiin huomioda jo ennen tuotteen viemistä tuotantovaiheeseen. Tästä menetelmästä käytetään nimitystä **rinnakkaissuunnittelu** (eng. concurrent engineering). Rinnakkaissuunnittelu toteutetaan käytännössä siten, että yrityksen eri osastoilta osallistuu henkilöitä tuotteen kehitykseen ja kaikki tuovat oman alueensa näkemyksen suunnittelun käytettäväksi, jotta jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa osattaisiin huomioda tuotteen valmistuksen eri vaiheissa eteen tulevat mahdolliset ongelmat ja toisaalta ehdot, joiden pohjalta tuote tulee suunnitella. Suunnittelun organisointi on järkevää toteuttaa muodostamalla eri osa-alueista ryhmiä, jotka kukin tarkastelevat tehtyä suunnitelmaa omasta näkökulmasta. Eri ryhmiä varsinaisten suunnittelijoiden lisäksi ovat esimerkiksi valmistus, kokoonpano ja huolto.

Concurrent Engineering CE –suunnittelun perustavoitteet:

- sekä tuote- että tuotantoteknisten suunnitteluvaiheiden läpäisyn nopeuttaminen tekemällä vaiheet rinnakkain
- laadun parantaminen huomioimalla kaikki tuotteen elinkaaren vaiheet huomioon

Rinnakkaissuunnittelun erot verrattuna perinteiseen suunnitteluun:

- työn tekeminen monialaisissa tiimeissä (cross functional)
- toimintojen toteuttaminen rinnakkain
- informaation jakaminen ja käyttäminen välittömästi, kun infoa syntyy
- integroitu projektin johto (johtotiimi)
- aikainen ja jatkuva toimittajien mukaan kutsu
- aikainen ja jatkuva asiakastarpeiden tutkiminen

(Laipinleimu, Ideaalitehdas, s. 32-33)

Rinnakkaissuunnittelu voidaan lisäksi jakaa kahteen tyyppiin riippuen projektissa mukana olevien henkilöiden määrästä. Tällöin puhutaan pienimuotoisesta CE:stä (CE in the small) ja suurimuotoisesta CE:stä (CE in the large). Pienimuotoisessa CE:ssä tuotekehitysprojektiin osallistuu suhteellisen pieni joukko ihmisiä, keskimäärin 5-15. Suomalainen pienieräinen koneenrakennus lukeutuu hyvin usein juuri tähän. Suurimuotoinen CE sisältää jopa tuhansia henkilöitä ja usein kyseessä on esimerkiksi lentokone-, auto- tai vastaava laaja teollisuus. Suurimuotoinen CE sisältää monimutkaisia riippuvuussuhteita ja vaatii täten menetelmiä järjestyksen määrittämiseksi. (Lapinleimu s. 33, Eppinger et al 1994)

2.5 DFMA tekniikan tavoitteet

DFMA tekniikan avulla pyritään saavuttamaan korkea tuotteen laatu, hyvä kannattavuus sekä hyvä tuottavuus. Andreasenin kirjassa Design for Assembly on esitelty eri keinoja, joilla mainitut tavoitteet pyritään saavuttamaan. Tavoitteet esitetään jaettuna kolmeen osa-alueeseen ja kullekin osa-alueelle esitetään mahdollisia keinoja tavoitteen saavuttamiseksi. Kaikkia mainittuja keinoja ei välttämättä voida soveltaa joka tilanteessa, mutta tarkoituksena on esitellä erilaisia huomioitavia asioita.

Seuraavassa kolme tavoitetta ja niiden saavuttamiseksi esitettyjä keinoja on esitelty Andreasenin kirjan mukaisesti. (Andreasen, 1988, s.74)

Tavoite 1: Tuotteen korkea laatu

Luotettava valmistus ja kokoonpano

- yhtenäiset kokoonpanot ja valmistukset
- vähän virheellisiä valmistuksia ja kokoonpanoja
- mahdollisuus luotettavuuden tarkastamiseen
- mahdollisuus luotettavaan testaamiseen

Tasalaatuisia komponentteja

- Korkeat laatuvaatimukset
- Lajittelu

Luotettava valmistus- ja kokoonpanojärjestelmä

- Laadukkaat työkalut
- Henkilökunnan motivointi

Optimaalinen suunnittelu valmistuksen ja kokoonpanon näkökulmasta

- Tuotevalikoima helposti valmistettavissa ja kokoonpantavissa
- Tuoterakenne huomioitu valmistuksen ja kokoonpanon näkökulmasta helposti toteutettaksi
- Käytettävät komponentit valittu valmistuksen ja kokoonpanon näkökulmasta helposti käytettäviksi

Tavoite 2: Hyvä kannattavuus

Matalat hankintakustannukset

- Ei kokoonpanoa
- Automaattiset standardivarusteet
- Automaattiset erikoisvarusteet
- Ei mekaanisia varusteita

Matalat muuntamiskustannukset

- Joustavat varusteet
- mukautuvat varusteet

Tuotannon suuri volyymi

- Erikoistuneet automaattivarusteet
- Automatisointi
- mekaaninen varustelu
- manuaalinen kokoonpano

Suuria sarjoja samoilla varusteilla

- Variaatioiden vähäinen määrä
- muunneltavuus

Tavoite 3: Hyvä tuottavuus**Seisokkien ja häiriöiden vähäinen määrä**

- Joustavuus komponenttivariaatioissa
- Komponenttivariaatioiden pieni määrä
- Järjestelmän korkea luotettavuus
- puskurivarastojen suuruus

Korkea hyötysuhde

- Laitteiston joustavuus
- tuoterakenteiden yhtenäisyys
- komponenttivalikoiman yhdenmukaisuus

Lyhyt kokoonpanoaika

- Vain vähän tai ei yhtään kokoonpanoa
- yksinkertainen ja nopea kokoonpano
- kokoonpanon yhtäaikaisuus
- operaatiot yhtäaikaaisesti

Suuri kapasiteetti

- operaatiot yhtäaikaisesti
- mekaaniset varusteet
- Sarjojen suuri koko

Luotettava miehitys

- Vähän toimijoita
- Pieni toimijoiden vaikutus
- työn mielekkyys

DFMA tekniikan tavoite on:

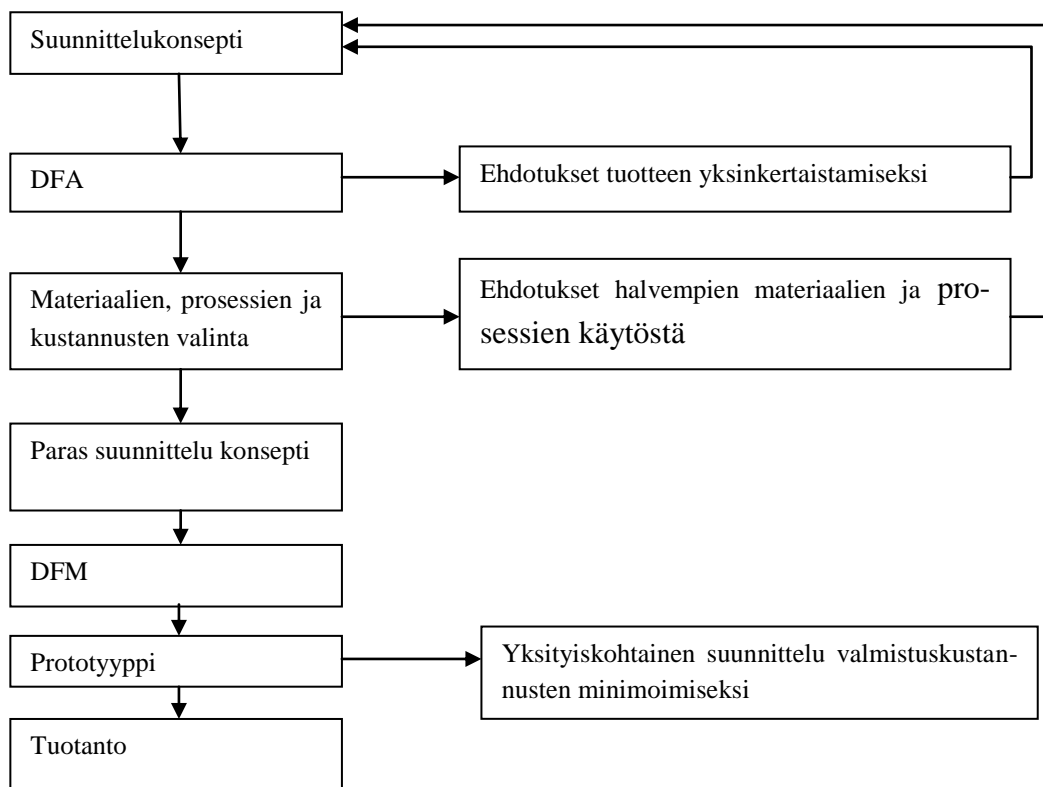
- Tuotteen yksinkertaistaminen
- Osien lukumäärän supistaminen välttämättömään
- Osien suunnittelu valmistusmenetelmille ja koneille soveltuviksi
- Osien muotoilu kokoonpanon helpottamiseksi

(Boothroyd et Alting 1992)

Pyrittäessä minimoimaan osien määrää tuotteessa on kuitenkin määriteltävä kriteerit, joiden perusteella erillisen osan lisääminen konstruktion voidaan hyväksyä. Aina ei ole mahdollista vähentää osien määrää esim. muotoilulla ja tällöin joudutaan hyväksymään erillisen osan suunnittelu. Boothroyd ja Dewhurst (Boothroyd et al.1994)/Lapinleimu määrittävät kolme kriteeriä, jotka oikeuttavat erillisen osan suunnittelun ja osien lukumäärän lisäämisen:

- Osan on tuotteen toiminnassa liikuttava muihin nähden
- Osan on oltava eri materiaalia
- Osan on oltava erillinen kokoonpanon tai purkamisen (esim. kuluneen osan vaihtotyö) mahdollistamiseksi.

Edellä esitetty ajatusmalli antaa suuntaviivat suunnittelun toteuttamiseen, mutta varsinaiset kustannusvaikutukset osien määrän pienentämisestä on jossain määrin vaikea todentaa. Yleisesti ottaen kuitenkin monet esimerkit viittaavat näin olevan. Jos kaksi tai useampia osia voidaan yhdistää yhdeksi rakenteeksi, vältetään tällöin liitospintojen koneistamiselta. Kokoonpanon kannalta taas yksi työvaihe jää pois, mikä lyhentää tuotteen kokoonpanoon kuluva aikaa. Toisaalta tietyt seikat puoltavat erillisen osan käyttämistä rakenteessa. Esimerkiksi mikäli osa on saatavissa standardoituna ostokomponenttina. /Lapinleimu. Kuvassa 2.3. on esitetty DFMA prosessin kulkua. Näkemys perustuu Boothroydin ja Dewhurstin esitykseen.



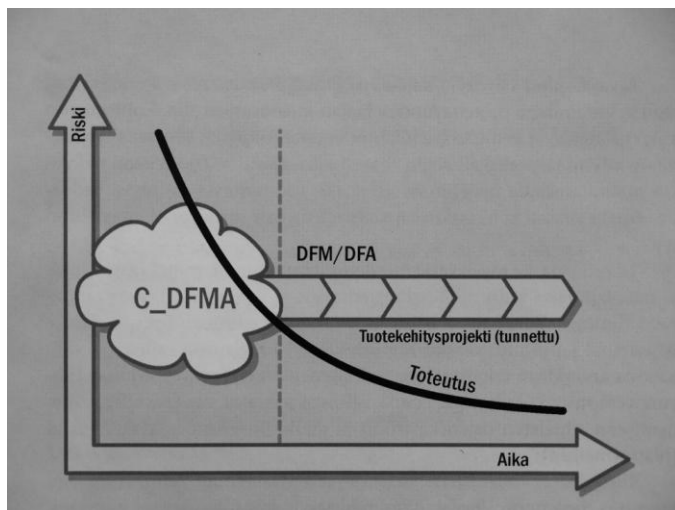
Kuva 2.3. DFMA-prosessi.

(Muokattu lähteestä: Edwards, K. 2002 Towards more strategic product for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. *Materials and Design* 23, pp. 651-656)

2.6 C_DFMA-ajattelutapa

Kokoonpanon ja valmistettavuuden huomioiminen jo aikaisessa vaiheessa tuotekehitysprosessia on tärkeää, jotta mahdolliset ongelmat kokoonpanossa ja valmistuksessa huomataan ennen kuin konsepti on kehitetty liian pitkälle. Muutoksien tekeminen myöhemmässä vaiheessa aiheuttaa lisää työtä ja siten kustannuksia. Kokoonpanon ja valmistuksen huomioiminen varhaisessa konseptivaiheessa on synnyttänyt käsitteen Conceptual Design for Manufacturing and Assembly (C_DFMA). (Huhtala & Pulkkinen 2009, s.13-16)

Aiemmin DFA ja DFM menetelmiä on sovellettu tuotekehityksessä siinä vaiheessa kun varsinainen konsepti on jo hahmottunut hieman pidemmälle. Huhtalan & Pulkkinen kirjassa C_DFMA:ta tarkastellaan suhteessa DFA:han ja DFM:ään siitä näkökulmasta, mihin vaiheeseen prosessia mainitut metodit sijoittuvat. Kuvassa 2.4. on esitetty C_DFMA:n käyttäminen verrattaessa sitä DFA/DFM:n käyttämiseen.



Kuva 2.4. C_DFMA:n soveltaminen suhteutettuna DFM/DFA:n soveltamiseen. (Huhtala & Pulkkinen 2009 s.15)

Kun tarkastellaan edellä mainittuja metodeja, käsitteet valmistettavuus, kokoonpantavuus ja tuotettavuus nousevat esille. Jotta asia olisi helpompi sisäistää esitettään seuraavassa mainittujen käsitteiden pääperiaatteet. Oheiset määritelmät ovat esitetty Huhtalan & Pulkkinen kirjan mukaisesti.

Valmistettavuus

Ominaisuus, jonka ansiosta tuotteen osien valmistaminen on toteutettavissa tavoitteiden mukaisesti. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi osan koneistaminen, hitsaaminen ja muut osavalmistuksen menetelmät. Tavoitteiden täyttymistä mittaavia kriteereitä ovat esimerkiksi osien tasalaatuisuus, tehokkuus ja tavoiteltava kustannustaso. Valmistettavuus siis kuvaa osien ja osavalmistuksen menetelmien kohtaamista.

Kokoonpantavuus

Ominaisuus, joka puolestaan mahdollistaa tuotteen kokoonpanon laadukkaasti ja kustannustehokkaasti. Kokoonpantavuus vaikuttaa vastaavalla tavalla kuin valmistettavuus osavalmistuksessa. Tuotantojärjestelmän ominaisuuksien kannalta näkökulma on vastaava kuin valmistettavuudessa, eli se voidaan ajatella rajautuvaksi joko paikallisen yksikön tai teknologian näkökulmasta.

Hyvän kokoonpantavuuden omaava tuote sisältää mahdollisimman vähän eri osia, jolloin erillisiä työvaiheita on mahdollisimman vähän. Eri työvaiheet tulisi suunnitella toteutettaviksi siten, että erilliset työvaiheet voidaan toteuttaa mahdollisimman pitkälle samasta kokoonpanosuunnasta, mikä vähentää kappaleen asentojen vaihtamisen tarvetta.

Tuotettavuus

Tuotettavuus on paljon laajempi käsitteenä kuin edellä mainitut valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Kahdessa edellisessä näkökulma keskittyi paikalliseen yksikkönäkökulmaan, mutta tuotettavuudessa huomioidaan laajemmin koko tuotantojärjestelmä. Tällöin tarkastelu kattaa kokonaisuudessaan koko tuotantoverkon. (Huhtala & Pulkkinen, 2009)

Ilkka Lapinleimun mukaan tuotettavuus on ominaisuus, joka tukee tuotantoa laaja-alaisesti. Tuotettavuus sisältää osakäsitteitä, joista kokonaisuutena muodostuu tuotettavuus. Kirjassaan Lapinleimu kuvaa tuotettavuuden seuraavasti:

TUOTETTAVUUS

Tuotteen vaikutus operoitavuuteen

- modulaarinen tuote
- materiaalien saatavuus

Osien valmistettavuus

- aihoiden valmistettavuus
- osien koneistettavuus
- muiden osien valmistettavuus

Kokoonpantavuus

Testattavuus

(Ideaalitehdas, tehtaan suunnittelun teorian kiteytys, 2007, s. 151)

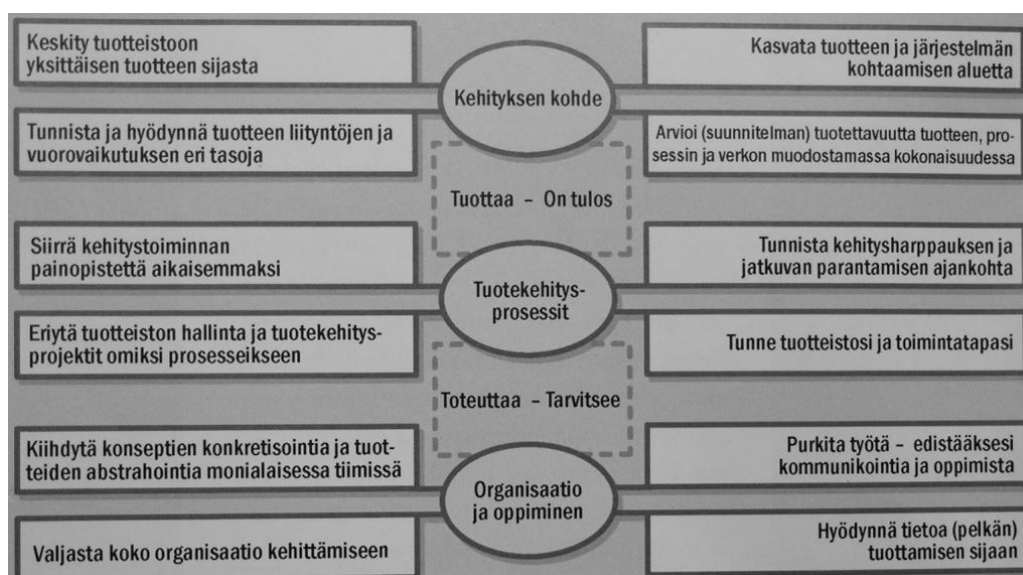
Tuotettavuutta tarkasteltaessa huomataan, että kun tarkastelu laajennetaan käsittämään tuotteen ja tuotantojärjestelmän kohtaamista laajemmin, voidaan tuotettavuuteen vaikuttaa yhteisiä osia ja osakokonaisuuksia käyttämällä. (Huhtala & Pulkkinen 2009). Käytettävissä olevien osien ja osakokonaisuuksien mahdollisimman tehokas hyödyntäminen eri tuotekonsepteissa tuo esimerkiksi seuraavia etuja:

- nimikekirjon pienentyminen toimitusverkossa
- järjestelmän ohjaus yksinkertaistuu
- tuotantovolyymit kasvavat
- menetelmät kehittyvät suurempien volyymien ansiosta

(Huhtala & Pulkkinen, 2009, s.14)

C_DFMA ajatusmalli pyrkii siis varmistamaan sen, että tuotteen suunnittelussa huomioidaan jo varhaisessa vaiheessa mahdollisimman kattavasti eri osa-alueet, jotka vaikuttavat myöhemmässä vaiheessa siihen, kuinka sujuvaa tuotteen valmistaminen ja kokoonpaneminen tulee olemaan. C_DFMA myös huomioi laajemmin eri näkökulmat ja tekijät, jotka tuotteen valmistamiseen liittyvät, verrattuna DFA/DFM menetelmiin. Huolellisella valmistelulla ja asioiden kartoittamisella jo etukäteen pyritään pienentämään riskiä, joka uuden tuotteen markkinoille saattamiseen liittyy.

Huhtala & Pulkkinen ovat kirjassaan esittäneet 12 teesiä, joiden avulla he kuvaavat C_DFMA:n perusidean. Seuraavassa esitetään teesien sisältö tiivistetysti sekä teesien keskinäinen ryhmittely asiayhteyksien mukaisesti. Kuvassa 2.5. on esitetty Kaikkien 12 teesin ryhmittely kolmen asiayhteyden perusteella.



Kuva 2.5. Huhtalan & Pulkkinen esittämät 12 teesiä ryhmiteltynä asiayhteyden perusteella.

Tuotekehittämisen laaja-alaisuuden johdosta on varsin vaikea saada aikaan ohjeistusta, joka soveltuisi eri tilanteisiin ja erilaisille tuotteille yleispätevästi ja kaikenkattavasti. Eri teollisuuden alojen keskinäiset erot vaikeuttavat yhtenäisten metodiikkojen aikaansaamisen. (Huhtala & Pulkkinen, 2009)

Huhtalan & Pulkkinen esittämät teesit C_DFMA:n perusajatuksesta on tiivistetysti esitetty seuraavassa:

TEESI 1 - Keskity tuotteistoon yksittäisen tuotteen sijaan

Kehitettäessä uusia tuotteita tulisi panostaa kehityksen painottumiseen koko tuotearkkitehtuuriin. Tällä pyritään siihen, että turhien variaatioiden työstäminen vältetään ja näin

saavutetaan koko tuotepalettia hyödyttäviä etuja. Vakioitujen ratkaisujen käyttäminen on järkevää myös kustannusmielessä, koska tällöin kehitysprosessi nopeutuu koko tuotealueella eikä vain yhden uuden tuotteen kohdalla. Säästöt tulevat ennen kaikkea turhan uudelleen suunnittelun välttämisenä, mikä sinällään myös nopeuttaa kehitysprosessia. Keskittyminen koko tuotteistoon vähentää tarpeettomia variaatioita ja yhtenäistää eri variaatioiden kesken käytettäviä osakomponentteja ja ratkaisuja. Oleellista tuotteiston yhtenäistämässä on pyrkimys vakioitujen tuoterakenteiden käyttämiseen ja eri tuoterakenteiden uudelleen käyttäminen eri sovelluksissa. Huomioitaessa koko tuotteisto kokonaisuutena, mahdollistetaan koko tuotannon ja tuotantoverkoston kehittäminen vain yhden osa-alueen sijasta.

TEESI 2 – Tunnista ja hyödynnä tuotteen liityntöjen ja vuorovaikutuksen eri tasoja

Tuotteen liitynnät ja vuorovaikutus useammalla eri tasolla ja eri asiayhteyksissä tulisi tunnistaa synergiaetujen löytämiseksi. Näitä liitospintoja löytyy esimerkiksi osavalmistuksessa ja kokoonpanossa. Tuotteen esittäminen koostumusrakenteena helpottaa tuotteen jakamista rakenteellisiin osakokonaisuuksiin. Nämä osakokonaisuudet voivat olla käytettävissä mahdollisesti muissakin saman tuoteperheen tuotteissa joko yksittäisinä osina tai tietyn kokoisina osakokonaisuuksina eli moduuleina. Tarkasteltaessa tuotteen koostumusrakennetta, tarkoitetaan sen liityntöjen vertaamisella tuotteen koostumusrakenteen vertaamista muiden koostumusrakenteisiin. Näiden liityntöjen vertaamista voidaan tehdä usealla eri tasolla kuten esimerkiksi saman tuoteperheen eri variaatiot. Toisaalta myös esimerkiksi tuotteen koko elinkaaren aikaisten eri vaiheiden aikaisiin järjestelmiin vertailu auttaa tunnistamaan eri vaiheissa piilevät liitynnät. Tässä vaiheessa on siis oleellista tunnistaa jo ennestään tehdyt suunnitelmat esimerkiksi muissa konsepteissa ja täten välttää turhan työn tekeminen uudelleen, mikä sinällään aiheuttaa turhaa työtä ja täten kustannuksia. Jo suunniteltujen osakokoonpanojen eli moduulien lisäksi yhtenevyys voi ilmetä myös esimerkiksi vakiintuneiden liitosmenetelmien käyttämisellä eri tuotevariaatioiden rakenteessa. Tästä esimerkkinä voisi mainita esimerkiksi vakioidun pulttiliitoksen käyttäminen tuoteperheen eri tuoterakenteissa. Tällöin vakioimalla pulttikoot saavutetaan pienempi variaatioiden määrä pulttiliitoksissa, mikä pienentää riskiä väärin pulttien käyttämiseen ja toisaalta helpottaa esimerkiksi varastointia, osatoimituksia ja yhtenäistää esimerkiksi koneistusvaiheita.

TEESI 3 – Kasvata tuotteen ja (elinkaari)järjestelmän kohtaamisen aluetta

Aiemmin yleisesti käytössä olleissa toimintamalleissa tuotteen elinkaaren eri vaiheet kuten kehitys- ja tuotantovaihe eivät ole juuri kohdanneet. Mainitut vaiheet tuotteen elinkaarella ovat asettuneet peräkkäin, jolloin tuotantovaiheeseen siirtynyt tuote on jo pitkälle suunniteltu ja suunnitelmat ovat tässä vaiheessa yleensä varsin pitkälle jalostuneita. Tällöin muutoksien tekeminen enää tässä vaiheessa on monesti hankalaa ja aihe-

uttaisi ylimääräistä työtä ja siten kustannuksia, joten yleensä tässä vaiheessa muutoksien tekemisen kynnyks tuotteen rakenteeseen on korkea. Kehitys- ja tuotantovaihe olisi siksi hyvä saada linkitettyä osittain yhtäaikaaisiksi, jolloin kummankin osa-alueen näkemys tulisi huomioitua lopullisessa suunnitelmassa. Pyrkimys näiden kahden elinkaarijärjestelmän; suunnittelu- ja tuotantojärjestelmä integroimiseen helpottaisi siirtymistä elinkaaren vaiheesta toiseen. Kokonaisuutena tuotteen elinkaarijärjestelmien integrointi laajentaa tuotekehitystä siten, että suunnittelussa huomioidaan itse tuotteen kehittämisen lisäksi myös muita osa-alueita tuotteen koko elinkaaren ajalta. Näitä ovat esimerkiksi eri tuotantoprosessit ja tuotantoverkot. Tiivistettynä voidaan todeta, että tehdystä työstä ja siten saaduista kokemuksista opitaan ja tämä oppi hyödynnetään jatkossa entistä paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

TEESI 4 – Arvioi (suunnitelman) tuotettavuutta tuotteen, prosessin ja verkon muodostamassa kokonaisuudessa

On tärkeää huomioida, että tuotteen suunnitteluratkaisut eivät rajoitu pelkästään itse tuotteeseen, vaan ratkaisut vaikuttavat huomattavasti laajemmalle alueelle. Tuotteen itsensä lisäksi vaikutus heijastuu myös tuotantoprosesseihin ja toimitusverkkoon. Kun arvioidaan eri ratkaisujen vaikutusta esimerkiksi kustannusmielessä, päädytään monesti huomioimaan lähinnä välittömiä kustannuksia. Välittömät kustannukset ovat monessa tapauksessa helpointa konkretisoida, mutta ne ovat kuitenkin vain yksi kriteeri monen muun joukossa. Tuote tulisikin nähdä laajemmassa kokonaisuudessa ja huomioida eri alueiden vaikutus lopullisessa kokonaisuudessa. Keskeisiä vaikutusalueita, jotka vaikuttavat tuotteen tuotettavuuteen, ovat tuotealue, prosessialue ja verkkoalue. Nämä mainitut alueet kattavat kokonaisvaltaisesti sen, mitä tuotteen valmistamiseksi ja markkinoille tuomiseksi vaaditaan.

TEESI 5 – Siirrä kehitystoiminnan painopistettä aikaisemmaksi

Tuotekehitysprojektin jakamista eri vaiheisiin sekä eri vaiheista toiseen siirtymisen kriteereitä on tutkittu pitkään. Samoin koko toiminnan organisointia, johtamista ja mittaamista on tutkittu laajalti. Olisi tavoiteltavaa, että jo tuotesuunnittelun mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tehtäisiin oikeita asioita kokonaisuuden kannalta, jotta myöhemmissä vaiheissa olisi mahdollista tehdä valittuja asioita oikein. Tämä vaihe tulisi pyrkiä tekemään mahdollisimman tehokkaasti siinä mielessä, että saataisiin jo tuotesuunnittelun alkuvaiheissa kattava joukko suunnitelmia, joita voidaan sitten prosessin kuluessa jalostaa ja parantaa. Toisaalta tällöin voitaisiin myös sulkea pois ehdotuksia, joiden toteuttaminen todetaan jo tässä varhaisessa vaiheessa kannattamattomaksi. Tässä vaiheessa haasteena on kuitenkin se, että yleisesti tuotanto-organisaatio ei kykene kovin tehokkaasti tulkitsemaan näitä aivan alkuvaiheessa tehtyjä abstrakteja suunnitelmia joten olisikin tärkeää pyrkiä konkretisoimaan mahdollisimman nopeasti. Perinteisesti on toteutettu lähestymistapaa, jossa suunnitelma toteutetaan jo melko pitkälle, minkä jälkeen

havaittujen muutostarpeiden ja parannusten tekeminen vaatii enemmän työtä. Tällöin menetetään nykyisessä kilpailutilanteessa arvokasta aikaa ja toisaalta aiheutetaan turhia kustannuksia. Olisi kokonaisuuden kannalta parempi, mitä aikaisemmin oikea ratkaisu löydetään ja päästään kehittämään sitä. Aikaisessa vaiheessa tehty kattava suunnittelu mahdollistaa useampien vaihtoehtojen tarkastelun ja läpikäynnin, mikä osaltaan laajentaa ratkaisuvaihtoehtojen määrää ja täten tarjoaa jo varhaisessa vaiheessa paremmat lähtökohdat optimaalisen ratkaisun löytämiseen. Mikäli yksittäiset suunnitelmat viedään eteenpäin liian nopeasti ja puutteellisesti arvioituina, on vaarana, että tehtyjä ratkaisuja joudutaan muuttamaan prosessin myöhemmässä vaiheessa ja tällöin on erittäin todennäköistä, että jäljellä olevat vaihtoehdot asian korjaamiseksi ovat melko rajalliset. Esimerkiksi muiden komponenttien konstruktio saattaa rajoittaa käytettävissä olevat vaihtoehdot vähäisiksi verrattuna siihen tilanteeseen, että tehty ratkaisu olisi havaittu sopimatomaksi jo aiemmin vaiheessa, jolloin ratkaisuvapaus olisi ollut laajempi.

TEESI 6 – Eriytä tuotteiston hallinta ja tuotekehitysprojektit omiksi prosesseikseen

Toteutettaessa tuotekehitysprojekteja olisi tärkeää havaita ja löytää ne toiminnot, jotka toistuvat useissa eri projekteissa. Näiden toistuvien toimintojen tekeminen yhä uudelleen eri projekteissa aiheuttaa turhaa työtä ja vie tehokkuutta oleelliselta. Yritys saattaa toistaa näitä aktiviteetteja joko tiedostamattaan tai sitten toistuvia tehtäviä ei vain havaita. Tuotteiston hallinnan tulisi keskittyä varmistamaan se, että tehtävät projektit sopivat yrityksen kokonaisstrategiaan ja että alustarakenteet ja erilaiset vakiosuunnitelmat on tunnistettu ja organisoitu erillisiksi varsinaisista tuotekehitysprojekteista. Tämä edesauttaa suunnittelun tehokasta ja kilpailukykyistä toimintaa kun suunnitteluresursseja voidaan kohdentaa tehokkaasti oleellisiin tehtäviin. Eriyttämällä tuotteiston hallinta ja tuotekehitys saadaan tuotekehitys suunnattua yrityksen liiketoiminnan kannalta tehokaimmin.

TEESI 7 – Tunne tuotteistosi ja toimintatapasi

Kehittämisen perusedellytys on ymmärrys vallitsevasta tilanteesta. Toisin sanoen, jotta voidaan kehittää toimintaa, pitää olla selkeä ja oikea käsitys siitä, missä suhteessa yrityksen toiminta on verrattuna muihin vastaaviin organisaatioihin ja vallitsevaan todellisuuteen. Oma toiminta pitää siis pystyä asemoimaan, jotta jatkossa kehitystä voidaan todentaa käytettäessä tiettyjä keinoja, joilla asemaa pyritään parantamaan alkutilanteeseen verrattuna. Monesti uuden tuotteen määrittelyssä huomataan, että uusi konsepti sisältää sinällään jo entuudestaan käytettyjä elementtejä, joten sen, kuinka uudesta tuotteesta loppujen lopuksi on kysymys, määrittäminen on jossain määrin haastavaa. Kehityksen todentaminen edellyttääkin siksi nykyisen tuotteiston ja toimintatavan hyvää tuntemusta, jotta saavutettua kehitystä voidaan peilata johonkin lähtötilanteeseen. Hyviä tuloksia voidaan saavuttaa eri toimintatapojen yhtenäistämällä yrityksen sisällä. Kes-

kittyminen siihen, että tehdään oikeita asioita ja yhtenäisesti, on oleellisessa asemassa pyrittäessä parannuksiin.

TEESI 8 – Tunnista kehitysharppauksen ja jatkuvan parantamisen ajankohta

Kun yritys kehittää toimintaansa on oleellista tunnistaa tämänhetkinen tilanne, jotta tehtävä kehityssaskel voidaan suhteuttaa nykyiseen toimintatapaan ja tilanteeseen. Kehitys voidaan jakaa kahteen hieman erilaiseen tilanteeseen, joista toisessa pyritään toimintaa parantamaan jatkuvan parantamisen periaatteella ja toisessa pyritään ottamaan isompi kehitysharppaus eteenpäin. Tällainen isompi kehitysharppaus voi olla esimerkiksi toimintatavan radikaali muutos tai tuotteen rakenteellinen muutos. Kehitysharppausta tehtäessä on ensiarvoisen tärkeää tiedostaa kuinka suuri muutos on aiempaan verrattuna ja onko yrityksellä riittävä kyky muutoksen toteuttamiseen. Organisaation on kyettävä ottamaan vastaan tehtävä muutos tai muuten tehdyt panostukset menevät hukkaan tai muutoksesta saattaa olla jopa negatiivisia vaikutuksia. Tämän teesin toteuttamisen ehtona voidaan pitää teesin 7 toteutumista. Toiminnan kehittämisessä näkyvimmit parannukset tulevat yleensä silloin kun organisaation on vielä alhaisella kypsyystasolla. Tämä johtunee siitä, että tällöin parempia ja tehokkaampia toimintatapoja löytyy melko helposti. Mitä kehittyneemmäksi toiminta tulee, sitä haastavampaa on löytää parannuksia. Tästä seuraa se, että kehittyneillä yrityksillä kehitysharppaukset käyvät yhä lyhyemmiksi, mutta toisaalta niiden oikea-aikainen ja tarkka ajoitus voi tuoda merkittäviä vaikutuksia.

TEESI 9 – Kiihdytä konseptien konkretisointia ja tuotteiden abstrahointia monialaisessa tiimissä

Kehitystoiminnassa yksinkertaisuus on tavoiteltavaa kehitettäessä erilaisia konsepteja. Konsepteja tulisi pyrkiä luomaan useita erilaisia ja luoduista konsepteista tulisi valita parhaat ja tämän jälkeen pitäytyä niissä. Muutoksien tekeminen konsepteihin tulee harvita tarkkaan, mutta tarvittaessa muutokset tulisi käsitellä nopeasti ennalta määritetyllä tavalla. Tässä vaiheessa modernilla tietotekniikalla on suuri merkitys ja sitä tulisi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Toisaalta on myös tärkeää, että toiminta on selkeästi organisoitua ja resurssit jaettu monialaisiksi tiimeiksi, jolloin käyttöön saadaan tehokkaasti erilaisia näkökulmia, joiden perusteella asiaa voidaan viedä eteenpäin. Suunnitelman aikaisessa vaiheessa ei käytössä ole vielä tuotetta, joten kyseessä on tällöin suunnitelma. Aikaansaadun suunnitelman perusteella lähdetään kehittämään konseptia, jolloin puhutaan suunnitelman konkretisoinnista. Suunnitelman tavoiteltavia ominaisuuksia ovat yksinkertaisuus, yksikäsitteisyys sekä turvallisuus. Nämä seikat korostuvat C_DFMA:n käsitteellisessä näkökulmassa. Monialaisten tiimien käyttäminen antaa yritykselle kaksi selkeää etua: erilaisten näkemyksien kohtaaminen ja tiedon oikea-aikaisuus.

TEESI 10 – Valjasta koko organisaatio kehittämiseen

Kehittäminen organisaatiossa pitää tehdä jokaisella organisaation tasolla. Eri tasoilla tehtävät toimenpiteet ovat kuitenkin erilaisia, mikä pitää myös huomioida valittaessa työkaluja kehittämiseen. Valittavat työkalut ja menetelmät voivat poiketa toisistaan paljon eri tasoilla, mutta yleinen metodi, jonka mukaisesti työkalut rakentuvat, voivat olla yleisempiä kaikille organisaatiotasolle sopivia. Yrityksen eri organisaatiotasot voidaan jakaa seuraavasti eri tasoiksi, jotka puolestaan hyödyntävät toiminnassaan räätälöityjä työkaluja:

- Ylin johto: Strategian kehittäminen
- Keskijohto: Operatiivisen toiminnan ohjaus ja ongelmanratkaisun tukeminen
- Operatiivinen taso: Vakioitu työ

Kaikilla edellä mainituilla tasoilla taustametodina tulisi olla ongelman kirkastaminen ja nykytilan analysointi, minkä pohjalta pyritään kehittämään sopivat työkalut ja ratkaisut tavoitteiden saavuttamiseksi eri osa-alueilla ja organisaation eri tasoilla. Prosessin edetessä suunnitelmat viedään toteutukseen, minkä jälkeen tehdyt toimenpiteet tulisi analysoida saavutettujen asioiden todentamiseksi.

TEESI 11 – Purkita työtä – edistääksesi kommunikointia ja oppimista

Kun yrityksessä tehdään erilaisia töitä asioiden kehittämiseksi tulisi pyrkiä varmistamaan se, että jatkossakin voitaisiin hyödyntää jo aiemmin tehtyä työtä. Saavutetut tulokset olisi saatava käyttöön jatkossa ilman, että samoja asioita joudutaan tekemään uudelleen. Tätä jo tehtyä työtä voidaan paketoida monilla eri tavoilla kuten esimerkiksi erilaisiin työohjeisiin, toimintokuvauksiin ja tietovarastoihin. Toisin sanoen pyörää ei kannata keksiä joka kerta uudelleen vaan jo tehtyjä asioita voidaan käyttää uudelleen. Toimintojen ja menetelmien kehittyessä on kuitenkin muistettava, että uudet menetelmät ja keinot on vakioitava, jotta vältetään väärät tulkinnat ja niistä johtuva toiminnan hajautuminen. Toimintatapojen tulisi olla mahdollisimman yksikäsitteisiä. Toimintatapojen vakiointi edesauttaa myös sitä, että toimintaa voidaan analysoida ja ohjata.

TEESI 12 – Hyödynnä tietoa (pelkän) tuottamisen sijaan

Kehitettäessä uutta tuotetta tulisi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti jo olemassa olevaa tietoa. Jokainen uusi nimike, joka luodaan uutta projektia varten, kasvattaa tietokannoissa olevaa tietoa ja näin myös hallittavan datan määrää. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia, mikä ei ole järkevää pyrittäessä tehokkaaseen toimintaan. Kustannuksia tulee

niin tuotetiedon hallintaan käytettävien järjestelmien ja menetelmien hallinnan kannalta, mutta myös suunnitteluun kulutetun ajan muodossa. Jo olemassa olevan tiedon tehokas ja järjestelmällinen käyttö edellyttää toimivan tietojärjestelmän käyttöä, millainen on esimerkiksi tuotetiedon hallintajärjestelmä PDM, Product Data Management). Ohjelmisto on kuitenkin vain työkalu, jonka tehokas ja yrityksen toimintatapaan soveltuva käyttäminen edellyttää sitä, että ohjelmiston toiminta- ja tietorakennemallit on räätälöity yrityksen tarpeisiin. Tietojärjestelmät kehittyvät koko ajan, mikä tuo järjestelmän piiriin koko ajan uusia käyttäjiä, jotka voivat hyödyntää toiminnassaan jo olemassa olevaa tietoa. Uuden tiedon tuottamisen sijaan tulisikin pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman paljon jo kattunutta ja hyvin tallennettua tietoa.

Nämä edellä mainitut 12 teesiä kokoavat yhteen C_DFMA:n perusidean, jonka avulla tuotekehitystä tulisi pyrkiä viemään eteenpäin. Metodissa korostetaan tuotesuunnittelua koko tuotteiston näkökulmasta sekä monialaisten tiimien hyödyntämistä tuotekehityksessä. Lisäksi kantavana ajatuksena on jo olemassa olevan tiedon ja tehdyn työn hyödyntäminen uusien tuotekehitysprojektien kohdalla. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 58-78)

2.7 Modulaarisuus

Tuotteen modulaarisuus mahdollistaa tuotteen räätälöinnin eri asiakastarpeisiin mahdollisimman vähillä kustannuksilla. Modulaarisuudella tarkoitetaan siis tuotteen rakenteen jakamista osakokonaisuuksiin, joita voidaan käyttää eri tuotteissa itsenäisesti. Erillisiä itsenäisiä kokonaisuuksia kutsutaan moduuleiksi (Mertanen, M. 2007)

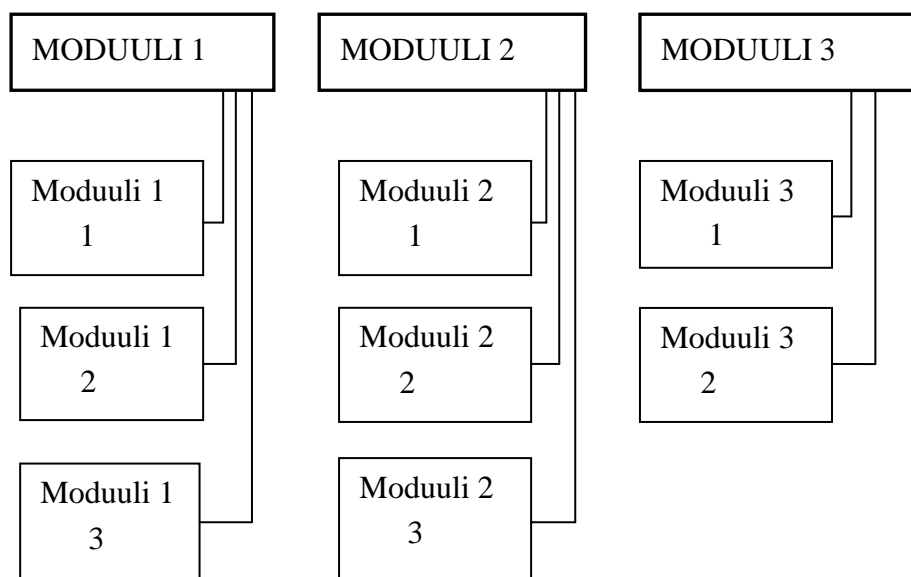
Blecker et al.:

Tuotemoduuli täyttää Bleckerin mukaan seuraavat ominaisuudet:

- Tuotemoduuli on osajärjestelmä, joka on yksinkertaisempi kuin se kokonaisjärjestelmä, johon se kuuluu
- Moduuli on suljettu toimintayksikkö
- Moduuli on selkeästi rajattu yksikkö
- Moduulin rajapinnat on selkeästi rajattu

(Blecker et al. 2006, s.164)

Tuotteen modulaarisuudella saavutetaan se etu, että tuotteet voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaisesti valmiista tuotemoduuleista yhdistelemällä. Näin saadaan luotua tuotevalikoima, jonka räätälöinti asiakaslähtöisesti on mahdollista vaikka erillisten moduulien valmistaminen on hyvinkin samankaltainen prosessi eri moduulien kesken. Modulaarisuus mahdollistaa myös esimerkiksi testaamisen jo ennen lopullista tuotteen kokoonpanoa. Kuvassa 2.6. on esitetty modulaarisen tuoterakenteen periaatetta.



Kuva 2.6. Modulaarinen tuoterakenne

Edellä esitetty havainnekuva moduulirakenteesta esittää tuotetta, joka koostuu kolmesta moduulista. Jokaiseen kolmeen moduuliin voidaan käyttää useampia eri vaihtoehtoja siten, että moduuleiksi 1 ja 2 on olemassa kolme eri vaihtoehtoa ja kolmanteen moduuliin 2 eri vaihtoehtoa. Täten kyseisessä tapauksessa tuotteesta voidaan eri moduulivaihtoehtoja käyttämällä valmistaa kahdeksantoista toisistaan poikkeavaa lopputuotetta.

2.8 DFMA menetelmän aiheuttama vastustus

Huolimatta DFMA-menetelmän tarjoamista mahdollisuuksista, saattaa menetelmän käyttöönotto aiheuttaa jonkin verran vastustusta. Vastustusta saattaa ilmetä hyvin monella eri tasolla yrityksessä, ei vain suunnittelun puolelta tulevana. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että pääsääntöisesti kyseessä on tällöin ihmisluonnolle ominainen alitajui-nen tapa asettaa kaikki uusi ja entisestä poikkeava toimintatapa hieman kyseenalaiseksi. Boothroyd on kuitenkin esittänyt eri syitä vastustukselle seuraavasti:

1. **Ajan puute.** Suunnitteluosasto saattaa kokea DFMA:n käytön ylimääräisenä työvaiheena, joka lisää entisestään kiirettä tuotesuunnittelun alkuvaiheessa. Menetelmän tuomia etuja ei välttämättä tiedosteta.
2. **Ei ole täällä keksitty.** Ulkopuolisen tahon kehittämää menetelmää ei koeta ”omaksi”. Mieluiten käyttöön otettaisiin osaston sisältä tulevat ehdotukset.
3. **Ruman vauvan syndrooma.** Varsinkin tilanteessa, jossa ulkopuolinen taho suorittaa tuotteen analysoinnin, saattaa tuotteen suunnittelijoiden taholta ilmetä

suurta vastustusta. On helpompi hyväksyä parannukset, jotka ovat itse todettuja kuin myöntää ulkopuolisen olevan oikeassa kritisoidessaan jotakin yksityiskohtaa.

4 Pienet kokoonpanokustannukset. Kokoonpanokustannusten määrää suhteessa tuotteen kokonaiskustannuksiin ei aina mielletä kovinkaan merkittäviksi. Tällöin niiden analysointi koetaan vain ylimääräisenä vaiheena, joka itsessään aiheuttaa kustannuksia. Todellisuudessa kokoonpanon aiheuttamat kustannukset voivat kuitenkin muodostua varsin merkittäviksi.

5 Pieni volyymi. DFMA-analyysi mielletään ajoittain vain suuren volyymin tuotteiden menetelmäksi. Tämä on sinällään väärä ajatus, että myös pienen volyymin tuotteiden valmistaminen kerralla oikein säästää kustannuksia.

6 Olemme tehneet niin jo vuosia. Näin esitetty perustelu pohjautuu yleisesti tilanteeseen, jossa suunnittelua on toteutettu tuottavuuden näkökulmasta. Tällöin periaatteena on ollut komponenttien suunnittelu tarkasti, mutta toisaalta ennen komponenttien suunnittelua tulisi huomioida muut kokoonpantavuuteen vaikuttavat tekijät.

7 DFMA on vain yksi tekniikka muiden joukossa. Tilanteessa, jossa käytössä on myös muita tekniikoita, voi yhden menetelmän nostaminen muiden yläpuolelle olla hankalaa.

(Boothroyd, 1994)

2.9 Yhteenveto

Edellä esitettyjä menetelmiä yhdistää tietyt yhteiset periaatteet ja tavoitteet, joiden avulla pyritään saamaan aikaan mahdollisimman yksinkertainen rakenne niin tuotteen teknisessä mielessä kuin sen valmistusvaiheessa tarvittavien toimenpiteiden suhteen. Tuotteen yksinkertaistaminen sisältää sekä teknisten yksityiskohtien että tuotannollisten toimenpiteiden huomioimisen. Kaikissa mainituissa menetelmissä on johtoajatuksena toiminnan kehittäminen siten, että tehdään oikeita asioita oikeaan aikaan, mutta toisaalta pyritään välttämään turhan työn tekeminen. Turhaa työtä voi olla niin tarpeettomien osien suunnitteleminen kuin esimerkiksi jo olemassa olevan tiedon hyödyntämättä jättäminen ja täten saman asian tekeminen useaan kertaan. Apuvälineiksi DFMA-menetelmän hyödyntämiseen suunnitteluprosessissa on kehitetty useita eri analysointimenetelmiä. Boothroydin menetelmä on eräs näistä ja se on varsin yleisesti käytössä. Haasteena tuotteen suunnittelussa kokonaisuuden kannalta on löytää optimaalinen kompromissi sillä eri näkökulmat saattavat ajoittain olla ristiriidassa keskenään. Tämä seikka voi ilmetä esimerkiksi siten, että valmistuksellisesti optimaalinen konsepti vai

olla kokoonpanon kannalta tarkasteltuna epäedullinen ratkaisu. Toisaalta kokoonpantavuudeltaan hyvä konsepti saattaa vaatia valmistuksellisesti liian monimutkaisia toimenpiteitä ja täten kokoonpanovaiheessa saavutettavat hyödyt eivät ole riittäviä huomioiden tuotteen koko elinkaari. Lukuisista erilaisista menetelmistä johtuen on tärkeää tunnistaa oleelliset kehityskohdat suunnitteluprosessissa ja suunata kehitystoimet tehokkaasti siten, että vältetään ylilaadun tavoittelu ja saavutettavat edut ovat hyödyllisiä kokonaisuuden kannalta. Liian suuri panostus suunnittelun kehittämiseen epäolennaisissa vaiheissa aiheuttaa turhaa kustannusten nousua ja täten saavutettu etu menettää merkityksensä tarkasteltaessa koko tuotteen elinkaaren aikaisia kustannuksia.

Otettaessa käyttöön uusia menetelmiä, yrityksessä tulee kiinnittää huomiota myös uuden toimintatavan lanseeraamiseen yrityksen toimintaan. Toimintatapojen muuttaminen totutusta aiheuttaa saavutettavien hyötyjen lisäksi usein myös jossain määrin epäilystä ja jopa vastustusta. Siksi olisi tärkeää kiinnittää erityistä huomiota tehtävien muutoksien vaikutukseen toiminnassa. Tässä luvussa esitetyt eri menetelmien keskeiset periaatteet on esitetty tiivistetysti taulukossa 2.2.

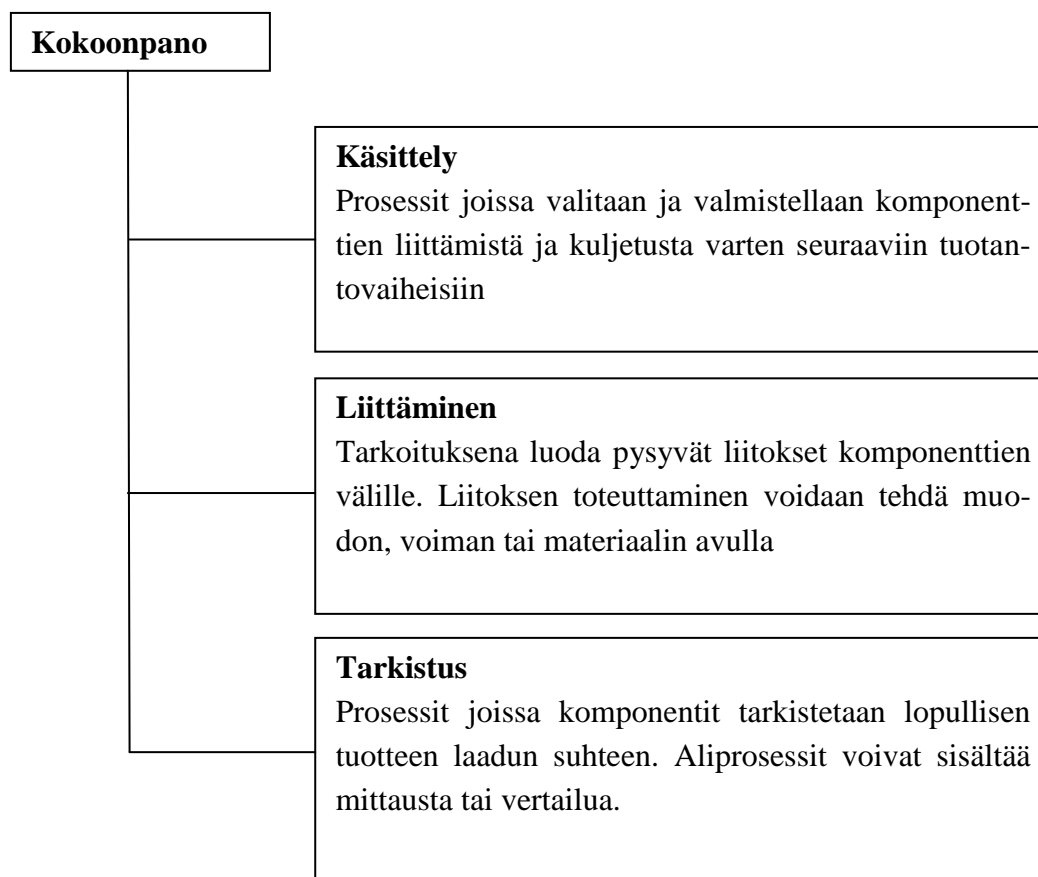
Taulukko 2.2. Metodien keskeinen sisältö.

Eri menetelmien keskeiset sisällöt		
Menetelmä	Tavoite	Keskeinen sisältö
DFA	Kokoonpanon asettamien vaatimusten huomiointi jo suunnitteluvaiheessa	Osien määrän vähentäminen. Pienempi kokoonpanoaika. Kustannusten lasku. Liitosmäärän vähentäminen. Kokoonpanotöiden vähentäminen.
DFM	Tuotteen valmistettavuuden kehittäminen	Työvaiheiden väheneminen Turhan toleroinnin poistaminen. Kokonaisuuden kannalta oleelliseen keskittyminen. Tarpeettoman työn vähentäminen.
DFMA	Tuotteen korkea laatu Hyvä kannattavuus Hyvä tuottavuus	Luotettava valmistus ja kokoonpano. Tasalaatuinen tuotanto. Luotettava valmistus- ja kokoonpanojärjestelmä. Suunnitelun optimointi valmistuksen ja kokoonpanon näkökulmasta. Matalat hankintakustannukset. Matalat muuntamiskustannukset. Tuotannon suuri volyymi. Suuret sarjat samoilla varusteilla. Häiriöiden vähäinen määrä. Korkea hyötysuhde. Lyhyt kokoonpanoaika. Suuri kapasiteetti. Luotettava miehitys.
C_DFMA	Yllä esitettyjen menetelmien huomioiminen jo aiemmassa vaiheessa. Kokonaisvaltainen vaikuttavien osa-alueiden huomiointi.	Laajempi tarkastelu tuotantoon vaikuttavien osatekijöiden näkökulmasta. Keskittyminen koko tuotteistoon yhden tuotteen sijasta. <u>Sijoittuu aikataulullisesti aikaisempaan vaiheeseen kuin DFA/DFM</u>
Rinnakkais-suunnittelu	Tuotantovaiheen huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa. Laaja sidosryhmien yhdistäminen	Suunnitelun ja tuotannon yhteistyö samanaikaisesti tuotekehityksen alkuvaiheesta lähtien. Tuotteen koko elinkaaren huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa. Yhteistyö eri sidosryhmien kesken.

3 KOKOONPANO

Valmistettaessa useasta eri osasta koostuvia tuotteita, liitetään eri osakomponentit toisiinsa erilaisilla liitosmenetelmillä. Tätä eri komponenttien yhdistämistä kutsutaan kokoonpanoksi ja sen huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa on erittäin tärkeää pyrittäessä saavuttamaan taloudellisia hyötyjä vähentämällä kokoonpanovaiheessa tehtävää työmäärää. Suunniteltaessa uutta tuotetta tulisi pyrkiä luomaan uudesta konstruktiosta mahdollisimman optimaalinen kokoonpantavuuden kannalta, mikä tarkoittaa sitä, että kaikki turhat työvaiheet ja pyritään poistamaan. Mahdollisimman yksikertainen rakenne vähentää tarvittavien osien määrää ja siten tehtävän kokoonpanotyön määrää, mikä pienentää kustannuksia huomattavasti kokoonpanovaiheessa. Toisaalta on kuitenkin huomioitava, että aina mahdollisimman yksinkertainen konstruktio ei ole välttämättä paras ratkaisu kustannusten kannalta, mikäli yksinkertaisuuteen pyrkiminen nostaa merkittävästi esimerkiksi koneistuskustannuksia.

Osien vähäisyydestä johtuva kustannusten säästö koostuu myös muista tekijöistä kuin kokoonpanovaiheen työmäärän pienenemisestä. Jokainen erillinen osa joudutaan suunnittelemaan, testaamaan, varastoimaan, ostamaan valmiina ja niin edelleen, joten kustannukset koostuvat varsin monessa vaiheessa tuotteen valmistusta. Suunnittelun tehtävä on siis löytää ne osat, jotka ovat välttämättömiä ja poistaa kaikki tarpeettomat osat tuotantoketjusta. Kokoonpano sisältää kolme erityyppistä toimintoa, jotka on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Kokoonpanon jaottelu työvaiheisiin ja toimintoihin. (Andreasen, 1988, s.34)

3.1 Liitosmenetelmät

Tuotteen kokoonpano on käytännössä eri osien liittämistä toisiinsa. Liitosmenetelmiä on lukuisia erilaisia ja niiden soveltuvuus eri kohteisiin vaihtelee sen mukaisesti mitä vaatimuksia kokoonpanolle asetetaan. Lempiäinen & Savolainen ovat esitelleet eri liitosmenetelmiä jaotellen menetelmät seuraavasti:

- Ruuviliitos
- Niittiliitos
- hitsausliitos
- puristus- ja kutistusliitos
- liimaus
- napsausliitos

(Lempiäinen & Savolainen 2003)

Mainituista menetelmistä ruuvaaminen on yleisin menetelmä. Kirjassaan Lempiäinen ja Savolainen esittävät, että ruuviliitoksia olisi jopa noin 80% kaikista eri konstruktoiden liitoksista. Varsinkin konepajateollisuudessa tämä oletettavasti voi pitää hyvinkin paikansa. Ruuviliitoksen käyttämistä puoltaa se, että se on myöhemmin helposti purettavissa. Tämä edesauttaa tuotteen huoltamista kun liitoksen avaamiseen ei tarvita erikoism-

netelmiä. Toinen ruuviliitoksen käyttöperuste on sen kyky eliminoida värähtelyn siirtymistä tuotteen sisärakenteeseen. Tarvittaessa liitoksen värähtelyn vaimennusominaisuuksia voidaan lisätä käyttämällä esimerkiksi kumista vaimenninta ruuvien kannan alla. Käytettäessä ruuviliitosta värähtelylle alttiissa kohteessa tulee kuitenkin huomioida ruuviliitoksen lukituksen varmistaminen esimerkiksi mekaanisen lukituslevyn avulla tai ruuvilukitteella. Ruuviliitoksen käyttämisessä on kuitenkin myös huonoja puolia. Ruuviliitoksen vaatimat reiät rakenteessa heikentävät kyseistä osaa rakenteessa. Lisäksi osaan tehtävät reiät puhkaisevat alkuperäisen pintakäsittelyn ja lisäävät täten korroosion mahdollisuutta. Käytettävät ruuvit tulee myös valita huomioiden liitettävien kappaleiden materiaalit ja mahdollisesti sitä kautta olemassa oleva galvaanisen korroosion mahdollisuus. Kokoonpanon kannalta ruuvit tulisi valita siten, että liitos koostuisi mahdollisimman pienestä määrästä erillisiä komponentteja kuten aluslevyt ja mutterit. Myös tuotteessa käytettävien ruuvien kantojen erilaisuutta tulisi välttää, jotta kokoonpanon yhteydessä tarvittavien erilaisten työkalujen määrä pysyisi mahdollisimman alhaisena.

Niittaus on menetelmä, jota pm käytetty varsinkin ohutlevyjen liittämiseen. Kyseinen menetelmä ei ole purettavissa ilman, että purkaminen vaurioittaa rakennetta. CNC-särmäyksen ja laserleikkauksen kehittyessä, niittauksen käyttö on vähentynyt, koska mainitut menetelmät mahdollistavat yhä monimutkaisempien muotojen toteuttamisen yhtenä kappaleena ja täten niittauksen tarve on pienentynyt.

Hitsaus on perinteinen liitostapa ja varsinkin konepajateollisuudessa aikojen saatossa paljon käytetty. Hitsaaminen asettaa tuotteelle paljon vaatimuksia, koska muihin liitosmenetelmiin verrattuna hitsauksella on paljon rajoituksia. Liitettävät materiaalit tulee olla samaa tai hyvin lähellä toisiaan olevia aineita. Lämmöntuotto aiheuttaa aina materiaalin elämistä, joka tulee huomioida. Hitsattaessa myös materiaalin alkuperäinen kiderakenne muuttuu, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia esimerkiksi lujuuden tai korroosionkestävyyden kannalta. Hitsisaumat tarvitsevat aina myös jälkikäsittelyä, jotta sauma ei poikkea muusta pintakäsittelystä.

Puristusliitos on monipuolinen liittämismenetelmä, jonka avulla voidaan toteuttaa varsin monipuolisesti erilaisia liitoksia. Puristusliitos voidaan tietyissä tilanteissa toteuttaa täysin käsityökalujen avulla, mutta yleensä tarvittavista voimista johtuen käytetään erillistä kokoonpanopuristinta. Tämä siksi, että käsityökaluilla voimien kohdistaminen juuri oikein ja oikeaan kohtaan on usein ongelmallista ja liitoksen tekeminen toistuvasti samalla tavalla on haasteellista lopputuloksen laadun kannalta arvioitaessa. Puristimen avulla voidaan toteuttaa lukuisa joukko erilaisia liitoksia kuten, kutistus- ja napausliitokset, jotka saadaan toteutettua aina samalla tavalla.

Liimaliitos on yleisesti käytetty menetelmä, johtuen sen tarjoamista eduista verrattaessa mekaaniseen liittämiseen. Liimaliitoksessa kuormitus jakautuu suuremmalle pinta-alalle eikä liitoksen tule tällöin yksittäisiä pistekuormia. Tämä ominaisuus mahdollistaa sen, että liitos kestää hyvin taivutusta ja tärinää. Liima toimii myös tiivisteinä, mitä ominaisuutta voidaan hyödyntää monessa kohteessa. Toisaalta liiman käyttäminen asettaa myös vaatimuksia materiaaleille eikä siksi sovellu käytettäväksi kaikissa tapauk-

sisä. Jotkin materiaalit saattavat reagoida liiman kanssa kosketuksiin joutuessa, mikä pitää huomioida valittaessa käytettäviä aineita. Lisäksi liima saattaa aiheuttaa tuotteen kokoonpanoprosessissa ongelmia, mikäli sitä joutuu väärin paikkoihin. Liimaliitoksen purkaminen on myös useasti hankalaa ja aiheuttaa lisätöitä esimerkiksi huoltojen yhteydessä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.83-120)

3.2 Kokoonpantavuus ja sen arviointi

Kokoonpantavuudella tarkoitetaan ominaisuutta, jonka ansiosta tuote voidaan kasata mahdollisimman laadukkaasti. Tämä ominaisuus korostuu jo suunnitteluvaiheessa, koska tehtävät suunnitelmat vaikuttavat oleellisesti siihen, kuinka helppoa tuotteen kasaminen tulee olemaan. Suunnitteluvaiheessa tehdään päätökset siitä kuinka monesta osasta tuote lopulta tullaan valmistamaan ja täten on tärkeää pyrkiä kartoittamaan jo tässä vaiheessa mahdollisesti kokoonpanon yhteydessä eteen tulevat ongelmat ja haasteet. Tuotteen lopullisesta hinnasta suurin osa päätetään jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut ja päätökset vaikuttavat jopa 75-85% tuotteen lopulliseen hintaan. (Lempiäinen, J & Savolainen, J. 2003)

Tuotekehitysprojektissa olisi järjestettävä määrävälein suunnittelukatselmus, jossa pyritään edistämään tuotesuunnittelun ja valmistustekniikan välistä vuoropuhelua. Tuotesuunnittelija tuo suunnitelmansa arvioitavaksi eri näkökulmien kannalta, jolloin voidaan analysoida jo etukäteen miten tuotteen osat ovat valmistettavissa ja toisaalta se mahdollistaa myös make-or-buy (tee tai osta) -analyysin tekemisen, jonka avulla yritys tekee päätöksen siitä, tuotetaanko tarvittavat tuotteet itse vai hankitaanko ne ulkopuoliselta toimittajalta. Suunnittelukatselmuksen toteuttamisessa on syytä harkita tarkkaan, mitkä resurssit ovat kaikkein oleellisimpia tiedon tuojia. Katselmus voidaan toteuttaa suunnittelijan itsensä tekemän arvioinnin perusteella, mutta toisaalta voidaan käyttää myös ulkopuolista kokoonpantavuuskonsulttia. Kummallakin tavalla on hyvät ja huonot puolensa, joten yhtä oikeaa tapaa ei ole. Käytettäessä tuotesuunnittelijan itsensä tekemää arviointia, on mahdollista saada arviointi hyvinkin nopeasti ja kustannustehokkaasti, mutta tällöin on vaarana se, että näkemys on varsin subjektiivinen. Ulkopuolisen arvioijan käyttäminen taas puoltaa paikkaansa, koska konsulttityö on saatavilla juuri silloin kuin sitä tarvitaan, eikä toisaalta väliajasta tarvitse maksaa.

Yksi ratkaisu tähän on se, että yrityksessä on asiantuntija, joka tekee arviointeja päätyönään. Tällöin vältetään suunnittelijan oman työnsä arviointiin liittyvä subjektiivisen näkemyksen mahdollisuus. Kokoonpantavuuden arviointi olisi tuotava suunnitteluprosessiin mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Ensimmäinen kokoonpantavuuden arviointi olisi toteutettava heti kun tuotteen moduulit ovat luonnosteltuina. Välttämättä osien luonnoksia ei vielä tässä vaiheessa tarvitse olla tehtynä.

(Lempiäinen & Savolainen 2003, s.151)

Saksalainen tohtori Rudolf Bässler käsittelee väitöskirjassaan (1987) kokoonpanotyön suunnittelusääntöjä yhdistämällä arvo- ja kokoonpantavuusanalysit. Bässlerin esittelee

män menetelmän mukaisesti kokoonpanotyölle lasketaan sen suhteellinen vaikeus kokoonpanoon kuluvaan aikaan sijasta. Bässlerin menetelmässä tuotteen kokoonpanon katsotaan koostuvan neljästä eri tasosta, jotka ovat:

- rakennetaso
- osakokoonpanotaso
- osataso
- liittämistekniikat

Tasojä ja tarkastellaan tarkistuslistojen ja suunnittelusääntöjen avulla ja suunnittelusäännöt jaetaan kolmeen luokkaan riippuen niiden tärkeydestä kokoonpanon kannalta seuraavasti:

- A = hyvin tärkeä
- B = tärkeä
- C = vähemmän tärkeä

Tällä pyritään kartoittamaan kokoonpanon kannalta oleelliset säännöt. Suunnitteluprosessi jaetaan neljään osaan ja eri säännöt jaotellaan kuuluviksi joihinkin näistä neljästä suunnittelun päävaiheesta, joita ovat:

- tehtävän asettelu
- luonnostelu
- kehittäminen
- viimeistely

Kuvassa 3.2. on esitetty Bässlerin menetelmän tarkistuslista, jossa eri suunnittelusääntöjen tärkeys on arvioitu ja määritelty niiden sijoittuminen suunnitteluprosessissa. Menetelmässä korostetaan kokoonpanon toteuttamisen yksinkertaistamista ja tuotteen kokoonpanemista mahdollisimman vähästä osasta. Kokoonpanon tulisi myös vaatia mahdollisimman vähän erikoisosaamista missään sen vaiheessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.152-153)

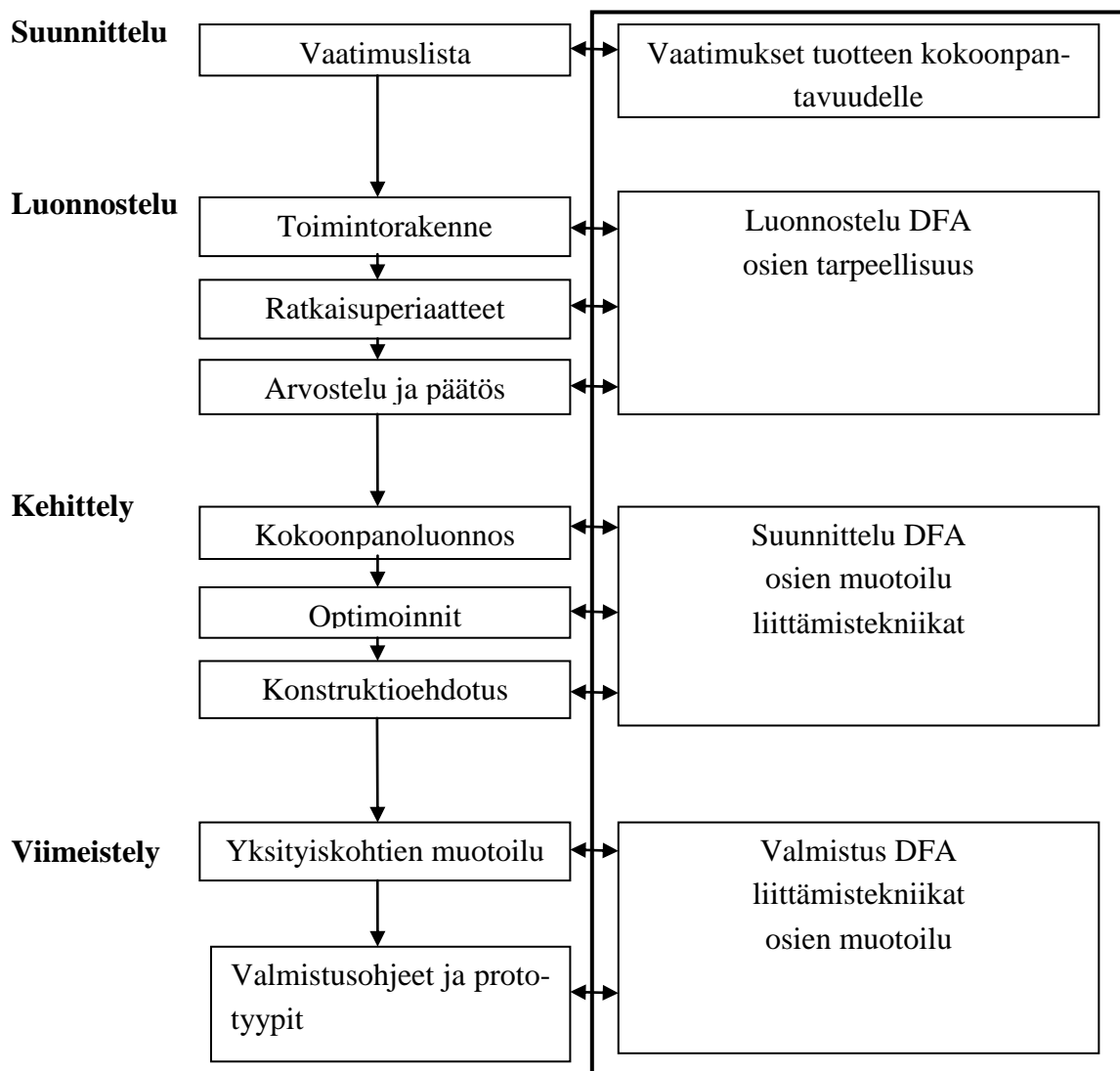
SÄÄNTÖ	TÄRKEYS	VAIHE
Käytä vähän erilaisia liitosmenetelmiä, standardoi.	B	Luonnostelu
Minimoi tai eliminoi liitososat(ruuvit ym.)	A	Kehittely
Yhdistä liitososia	A	Kehittely
Käytä yhdistettyjä tai esiasennettuja varmistusosia	C	Kehittely
Pyri lisäämään liitososiin pää- ja sivutoimintojen sisältöä.	C	Luonnostelu Kehittely
Käytä muotosulkeista paino- ja lepoliitosta tai voimasulkeista puristusliitosta	A	Luonnostelu
Vältä ylimääräisiä varmistusosia	B	Kehittely
Runko-osan tulee tarjota riittävät liittämismahdollisuudet	C	Luonnostelu Kehittely
Kaikkien liitospintojen tulee olla osakokoonpanon samalla sivulla	A	Luonnostelu Kehittely
Pyri suoriin (pysty- tai vaaka-) liitosliikkeisiin	A	Kehittely
Pyri yksinkertaisiin liitosliikkeisiin (puristus ruuvaamisen sijasta, suorat hitsisaumat)	A	Kehittely
Vältä alta tehtävää liittämistyötä	A	Kehittely
Pyri yhdensuuntaisiin liitosliikkeisiin	A	Luonnostelu
Välilliset liitokset tulee tehdä yläpuolelta muotosulkeisesti, välittömät liitokset voidaan tehdä myös sivulta	C	Kehittely
Rajoita liitostyövaiheita (esim.vakiojaolla)	B	Kehittely
Asennuspinnat suunniteltava mahdollisimman vapaiksi(3 vapausastetta sitovat)	C	Kehittely
Ohjauspinnat suunniteltava mahdollisimman pitkiksi ja kapeiksi (2 tai 3 vapausastetta sitovat)	C	Kehittely
Vältä jo paikalleen pantujen osien ei-toivottuja siirtymiä	B	Kehittely
Harkitse tekniikkamuutoksia kuten uusia liitosmenetelmiä	A	Tehtävän asettelu
Liitosten oltava mahdollisia ilman erikoistuneita ihmisiä ja liitostyövaiheiden oltava helposti opetettavissa	A	Kehittely
Tee liitos mahdollisimman yksinkertaisilla työkaluilla	B	Kehittely
Käytä liitosmenetelmiä, jossa ei tarvita esi- tai jälkitöitä	B	Kehittely
Yhdistä liittäminen ja kiinnittäminen	B	Kehittely
Valitse aikaa säästäviä liitososia (itseporautuvat ruuvit, paikallaan muovautuvat osat)	A	Kehittely
Vältä ylimääräisiä varmistusosia	B	Kehittely
Vältä paljon käsiteltäviä vaativia menetelmiä (kaksi tai useampia liitosuuntia) tai aikaa vieviä menetelmiä (termiset tai kemialliset)	B	Kehittely
Pyri helppoihin säätöihin	B	Kehittely
Vältä tai vähennä sovitustyötä	B	Kehittely
Vältä liian tiukkoja säätövaatimuksia	C	Kehittely
Valitse vähäiset tarkkuusvaatimukset omaava liitosmenetelmä	B	Kehittely
Käytä esisäädettyjä osia	B	Kehittely

Kuva 3.2. Bässlerin menetelmän tarkistuslista. Säännön tärkeys: A=hyvin tärkeä, B=tärkeä ja C=vähemmän tärkeä (Lempinen & Savolainen 2003, s.153)

Edellä esitelty Bässlerin kokoonpantavuuden arviointimenetelmä on osana Saksalaista VDI suunnittelusystematiikkaa ja sisältyy standardiin VDI 2222, jossa se on esitetty kuvassa 3.3. ilmenevällä tavalla.

Järjestelmällinen tuotesuunnittelu ja kokoonpantavuuden arviointimenetelmä

Kokoonpanon huomioonottaminen tuotesuunnittelussa



Kuva 3.3. Järjestelmällinen tuotesuunnittelu ja kokoonpantavuuden arviointimenetelmä standardin VDI 2222 mukaisesti. (Lempinen & Savolainen 2003, s.152)

3.3 Kokoonpantavuuden arviointimenetelmät

Arvioitaessa tuotteen kokoonpantavuutta voidaan käyttää erilaisia arviointiohjelmistoja, joita on kehitelty useita erilaisia. Kokoonpantavuuden arviointi on tietenkin helppo toteuttaa prototyypin avulla, jolloin voidaan konkreettisesti todeta miten kyseinen tuote on kokoonpantavissa. On kuitenkin kustannustehokkaampaa jos arviointi suoritetaan ennen varsinaisen prototyypin valmistamista. Käytännössä tällöin arviointi suoritetaan erilaisen ohjelmistopohjaisten menetelmien avulla. Kolme tunnetuinta menetelmää ovat Boothroyd-Dewhurst (USA), Lucas(UK) ja Hitachi (Japani), joita on käytetty laajalti teollisuudessa. Edellä mainittujen menetelmien lisäksi arviointi voidaan suorittaa tarkistuslistojen (eng. Check-list) avulla. /Lempiäinen & Savolainen 2003, s.155).

Arvioitaessa kokoonpantavuutta mainittujen menetelmien avulla, on merkittävä etu, että arviointia varten ei tarvita vielä fyysistä tuotetta, vaan analyysi tehdään tuotekehitystyön varhaisessa vaiheessa, lähinnä alustavasti hahmottuneiden osaluetteloiden pohjalta.

DFA menetelmien kehittymiselle 70-luvun lopun ja 80-luvun alun aikana oli leimallista tuotesuunnittelun puutteet verrattuna tuolloisen automaation mahdollisuuksiin. Lähtökohdaksi tulikin tuolloin asettaa tuotteen suunnittelu aina automaatiota varten vaikka tuote sitten tulisiinkin kokoonpanemaan manuaalisesti. Suunnittelu automatisoitua kokoonpanoa silmällä pitäen johti siihen, että kyseinen tuote oli myös käsin kasattaessa helpompi valmistaa.

3.3.1 Tarkistuslistat

Kevein menetelmä kokoonpantavuuden arviointiin on tarkistuslistatyökalu. Tarkistuslistan käyttöä voidaan soveltaa niin manuaalisen kuin automaattisen kokoonpanon yhteydessä. Tarkistuslistojen käyttämistä puoltavat niiden helppo muokattavuus ja soveltuvuus tuotekohtaisille räätälöinneille. Tarkistuslistan käyttäminen voidaan myös liittää yrityksen laatu järjestelmään ja näin jälkeensä on todennettavissa miten kokoonpantavuus on huomioitu eri vaiheissa tuotteen valmistusta ja millaisia päätöksiä on tehty. Myös poikkeamat perusteluineen suositelluista toimintatavoista jäävät näin dokumentteihin. Seuraavassa on esitetty Lempiäisen ja Savolaisen (2003) laatima tarkastuslista kun kyseessä on kokoonpano robotin avulla:

1. Tuodaanko osa kokoonpanoon orientoituna, makasiinissa, nauhaan kiinnitettyinä?
2. Tuodaanko osa kokoonpanoon orientoimattomina?
 - Orientoidaanko osa automaattisesti?
 - Miten?
 - Onko osa suunniteltu siten, että osat eivät takerru toisiinsa?
 - Ovatko osat likaisia tai tahmeita?
 - Voidaanko osan symmetriaa lisätä?

- Onko osan ulkopinnassa uria, viisteitä tai pykäliä, joiden avulla osa voidaan orientoida?
 - Onko osa epäsymmetrinen?
 - Onko epäsymmetria selvästi havaittavissa?
 - Pysyykö osa tukevasti pystyssä, kun se on kokoonpanoa ajatellen halutussa asennossa?
3. Millaisella kuljettimella osa syötetään kokoonpanoalueelle?
 4. Onko osa suunniteltu siten, etteivät osat syöttölaitteessa puristukseen joutua saan tuki syöttörataa?
 5. Onko osa suunniteltu siten, että valmistuksessa syntyvät purseet tms. eivät haittaa orientointia, kuljetusta, siirtoja ja kokoonpanoa?
 6. Onko osalla hyvät ohjaukset auttamassa kokoonpanoa?
 - Onko ohjauksia sekä osassa, joka kokoonpannaan, että osassa johon kokoonpannaan?
 7. Onko kokoonpanossa työkaluille riittävästi tilaa?
 8. Tarvitaanko osan paikalleen saamiseen voimaa?
 9. Täytyykö osaa tukea, jotta se pysyy ennen kiinnitystä paikallaan?
 10. Aiheuttaako osan toleranssit, materiaali tai pintakäsittely jotain erityisvaatimuksia kokoonpanolle?
 - Mitä erityisvaatimuksia?
 11. Mitä osaan liittyviä toiminnallisia asioita on otettava huomioon kokoonpanossa?

Verrattaessa automatisoitua kokoonpanoa ja manuaalista kokoonpanoa, painottuvat tarkastuslistassa hieman eri asiat. Automatisoidun kokoonpanon kohdalla eri osien paikoittamisen ja osien liikuttelun näkökohdat korostuvat. Manuaalisessa kokoonpanossa liittäminen ei pääsääntöisesti tapahdu automatisoidusti, jolloin osan muoto ei ole yhtä kriittinen. Toisaalta manuaalisessa kokoonpanossa pyritään osien mahdollisimman pieneen määrään ja osien suoraviivaiseen liittämiseen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.154-155)

3.3.2 Boothroyd-Dewhurst DFMA

Boothroyd-Dewhurstin DFMA:n perusajatuksena on tarkastella eri osien välistä kokoonpanoa ja toisaalta huomioida osien käsittelystä aiheutuvia kustannuksia. Kyseinen menetelmä voidaan hyödyntää niin manuaalisen kuin automatisoidun kokoonpanon kohdalla. Toisessa vaiheessa tarkastellaan osien välttämättömyyttä. Tässä vaiheessa asiaa tarkastellaan juuri siitä näkökulmasta, joka Boothroyd-Dewhurstin menetelmässä on esitetty erillisen osan suunnittelun oikeuttamiseksi. Konseptista pyritään poistamaan kaikki sellaiset osat, jotka eivät ole riittävän perusteltuja. Osien vähentäminen voidaan toteuttaa myös yhdistämällä useampia osia yhdeksi osaksi, jolloin kokoonpanovaiheiden määrä vähenee. Viimeisessä vaiheessa tarkastellaan tuotteen kokoonpano-olosuhteet ja

määritellään kokoonpanoon kuluva aika. Kokoonpanoaikaa määritettäessä huomioidaan sekä käsittelyaika että itse asetus aika. Boothroyd – Dewhurst ovat kehittäneet myös laskentakaavan, jonka avulla voidaan määritellä tuotteen kokoonpantavuutta laskemalla kokoonpantavuusindeksi. Tutkimusten mukaan kokoonpantavuuden laskennallinen indeksi vaihtelee yleisesti välillä 10-30.

$$\mu_{Kokoonpantavuus} = \frac{100 \times N \times R}{T_{kok}}$$

3.3.3 Hitachi AEM

Toinen tunnettu menetelmä on Hitachi Assembleability Evaluation Method (AEM). Hitachin menetelmä esiteltiin 70-luvun lopulla hieman ennen Boothroydin DFA-menetelmän esittelyä. Hitachin AEM menetelmässä keskitytään kokoonpanotyössä tehtäviin liikkeisiin ja niiden optimointiin. Menetelmän ajatuksena on, että kaikki kokoonpanotyöt tulisi pystyä tekemään ylhäältä alaspäin. Alaspäin suuntautuvaa liikettä pidetään helpoimpana ja nopeimpana kokoonpanotoiminnoissa ja se on siten menetelmän mukaisesti ideaalinen tapa toteuttaa kokoonpano. Kaikki tuotteen kokoonpanossa tehtävät toimenpiteet käydään lävitse ja niitä verrataan ideaaliliikkeeseen. Mikäli liike poikkeaa määritellystä ideaaliliikkeestä, kyseinen vaihe saa rangaistuspisteen. Näiden pisteiden avulla määritellään kaikki ylimääräiset kokoonpano toiminnot ja pyritään täten löytämään optimaalisin tapa kasata tuote ja poistaa kaikki ylimääräiset toimenpiteet. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.156)

Hitachin menetelmässä arvioiminen tapahtuu kahden eri suureen avulla. Nämä ovat E ja K. E:n avulla tarkastellaan kokoonpanotoimien vaikeutta. Jokainen tuotteen osa arvioidaan ja kartoitetaan sille tehtävät toimet kokoonpanossa. Hitachin menetelmä sisältää noin 20 eri symbolia kuvaamaan eri kokoonpanotoimenpiteitä. Jokainen osa arvioidaan yksitellen ja se pisteytetään sen mukaan, kuinka hyvin se noudattaa ylhäältä-alas liikettä ja täten menetelmän ideologiaa. Kaikki poikkeamat ideaalisesta tilanteesta pudottavat pisteitä ja täten lopuksi muodostuu kokonaispisteytys tuotteen kokoonpanolle. Kun kaikki tuotteen osat on arvioitu kokoonpanon näkökulmasta edellä mainitulla tavalla, saadaan tuotteen kokoonpantavuuspisteet eri osien kokoonpantavuuspisteiden keskiarvona.

Toisen suureen K:n avulla arvioidaan kustannussuhdetta eli sitä miten kustannukset ovat mahdollisesti pienentyneet aiempaan ratkaisuun tai standardituotteeseen verrattuna. K:n arvo saadaan vertaamalla kokoonpanoaikaa aiemman version vastaaviin. K:n arvon muutokselle on määritetty raja-arvo 0.7 ($K < 0.7$), jotta voidaan katsoa muutosta tapahtuneen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.157) Hitachin metodissa kokoonpanovaiheiden yksinkertaistaminen ja karsiminen ovat tärkeässä roolissa.

3.3.4 Lucas DFA

1980-luvun alussa alkunsa saanut Lucasin DFA menetelmä sisältää toiminnallisen analyysin, käsittely- tai syöttöanalyysin ja sovitusanalyysin. Myös Lucasin DFA soveltuu niin automaattiselle kuin manuaaliselle kokoonpanolle. Metodissa arvioidaan kaikki potentiaaliset kokoonpanoon vaikuttavat tekijät ja määritellään niiden tarpeellisuus kokonaisuuden kannalta.

Menetelmässä tuottekonseptia arvioidaan kokonaisuutena siten, että tuloksena saadaan kolme kokoonpantavuustulosta. Kaikki kokoonpanon osatekijät arvioidaan toiminnallisessa analyysissä, jossa ne jaetaan tarpeellisiin (A-osio) tai ei-tarpeellisiin (B-osio). Määrittelyn jälkeen voidaan laskea suunnittelun suhteellinen tehokkuus jakamalla tarpeelliseksi määritellyt osat kaikilla konseptin osilla ($A/A+B$). Tästä saadaan tulos, jonka tavoiteena pidetään 60%.

3.3.5 Ohjeistuksen luominen

Kaikki edellä kuvaillut ohjelmistotyökalut perustuvat DFA:n perusajatukseen kasvattaa tietoisuutta valmistuksen ja kokoonpanon tärkeydestä ja ennen kaikkea niiden välisestä kytköksestä tuotteen valmistusketjussa. Käytetystä menetelmästä riippumatta kaikille niille on ominaista tietyt perusajatukset ja lainalaisuudet. Seuraavassa on esitetty DFA:n ohjeet ja saavutettavat hyödyt Lempiäisen & Savolaisen (2003) esityksen mukaisesti:

- **Tähtää yksinkertaisuuteen**

- Minimoi erilaisten osien määrä osien moninaisuus, kokoonpanopinnat, yksinkertaista kokoonpanosarja, osien käsittely ja asennus nopeampaa ja tuotettavampaa kokoonpanoa varten.

- **Standardisoi**

- Standardisoi materiaalien käyttö, komponentit, ja tähtää mahdollisimman paljon standardiosien käyttöön jotta varastonhoito, työkalujen vähäisempi käyttö ja massatuotannon hyöty pienemmilläkin määrillä paranee.

- **Järkeistä tuotesuunnittelu**

- Standardisoi materiaalit, osat ja alakokoonpanot tuoteperheittäin, jotta suuruuden ekonomia tuotannossa kasvaisi sekä käytettävien apuvälineiden ja työkalujen hinnat alenisivat.
- Moduloi tuoteperhe, jotta mukautuminen asiakkaan tarpeisiin voidaan toteuttaa myöhemmin perustuotteen kokoonpanotehtävien jälkeen ja voidaan yksinkertaistaa JOT tuotantoa. (JOT = Just On Time)

- **Käytä mahdollisimman laajaa toleranssialuetta**

- Vähennä tolerointia ei-kriittisiltä osilta ja samalla vähennä toimintoja

- **Valitse materiaalit, jotka sopivat toimintoon ja tuotantoprosessiin**

- Vältä valitsemasta osan materiaalia pelkästään tuotteen toiminnallisten piirteiden takia; materiaalin valinnan täytyy myös suosia valittua tuotantoprosessia taatakseen tuotteen luotettavuuden ja kustannusrakenteen.

- **Minimoi tuottamattomat operaatiot**

- Käsittelyn, viimeistelyn ja erillisten tarkastusten minimointi vähentää kuluja ja kokoonpanon läpimenoaika.

- **Kokoonpanotyön suunnittelu**

- Käytä hyväksesi osan materiaalin ominaisuuksia vähentämään tarpeettomia osia tai ylimääräistä prosessointia, kuten esimerkiksi sintrattujen osien huokoista luonnetta voiteluaineen säilyttämiseen tai muoviosien plastisuutta osan kiinnityksessä.
- Piirteiden ja tehtävien suunnittelu, jotta voidaan ylittää kokoonpanoprosessin rajoittuneisuus kuten vaikkapa syöttölaitteiden käyttöä helpottavat piirteet
- Vältä tarpeettomia rajoituksia prosessissa, jotta voidaan sallia tuotannollinen joustavuus prosessin suunnittelussa.

- **Tiimityö**

- Edistää rinnakkaissuunnittelua
- Muodostaa tuotepohjainen kehitysorganisaatio, jossa on muodollinen monialainen tieteenhaara/ osastollinen tiimityön rakenne.
- Menestys on riippuvainen vanhemman johdon ostoista, avoin ovi-kulttuurista, henkilöstön koulutuksesta ja kehityksestä sekä jatkuvista käynnissä olevista kehitysohjelmissa.

(Lempinen & Savolainen 2003, s.164-165)

3.4 DFMA-analyysi esimerkki kokoonpanolähtöisesti

Tässä kappaleessa esitellään esimerkki tuotteen konstruktion kehittämisestä DFMA-periaatetta hyödyntäen. Käsiteltävä tuote ei liity Moventaksen tuotantoon, mutta se havainnollistaa prosessin vaiheet ja lopullisen konstruktion syntyminen johtaneet vaiheet.

Vaihe 1.

Valitaan analysoitava kohde ja laaditaan kohteesta kokoonpanon huomioiva tarkistuslista. Kohde tulisi olla riittävän suppeasti rajattu, jotta sen tarkastelu olisi mahdollisimman tehokasta ja toisaalta vältettäisiin liian laajan kokonaisuuden kartoittaminen yhdellä kerralla, jolloin analyysin tehokkuus saattaa kärsiä. Mahdollisuuksien mukaan tarkastelu tulisi toteuttaa esimerkiksi moduulikohtaisesti, jolloin tuotteen analysointi koostuu eri alikokoonpanojen muodostamasta kokonaisuudesta. Tällöin analyysin tekeminen jatkossa on myös helpompaa siinä tapauksessa, että pääkonstruktiosta muutetaan vain jonkin tietyn moduulin rakennetta. Tässäkin asiassa voidaan ohjenuorana pitää sitä, että kerran tehty työ olisi hyvä saada jatkossa hyödynnettyä sellaisenaan ilman, että joudutaan laatimaan taas uusi projektikohtainen päivitys.

Kun tarkasteltava kohde on määritetty, pyritään määrittelemään kohteen kriittiset komponentit tai osakokoonpanot, joiden poistaminen tai muuttaminen ei ole todennäköisesti mahdollista.

Osa tai osakokoonpano voidaan määritellä kriittiseksi mikäli se:

- liikkuu suhteessa muihin kokoonpanon osiin nähden
- on eri materiaalia kuin muut kokoonpanon osat
- on eristetty muista kokoonpanon osista
- on valmistuksellisesti tai toiminnallisesti erillinen

Vaihe 2.

Valitulle kohteelle pyritään asettamaan tavoitteet huomioiden asennusaika- ja kustannustavoitteet. Tässä vaiheessa vertailukohtana voidaan käyttää esimerkiksi yrityksen muiden tuotteiden vastaavia tietoja tai muiden kilpailevien yritysten tuotteiden tietoa, mikäli se on mahdollista. Toisin sanoen hyödyntämällä benchmarking-vertailun tekemistä. Käytännössä kilpailijoiden tietojen saaminen tässä mielessä voi olla käytännössä melko hankalaa, joten pääpaino vertailun tekemisessä tulisi olla omien tuotevariaatioiden hyödyntämisessä. Tämän tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti valittua kohdetta tarkastellaan verraten eri vaihdetyyppien keskinäisiä eroja ja yhtäläisyyksiä.

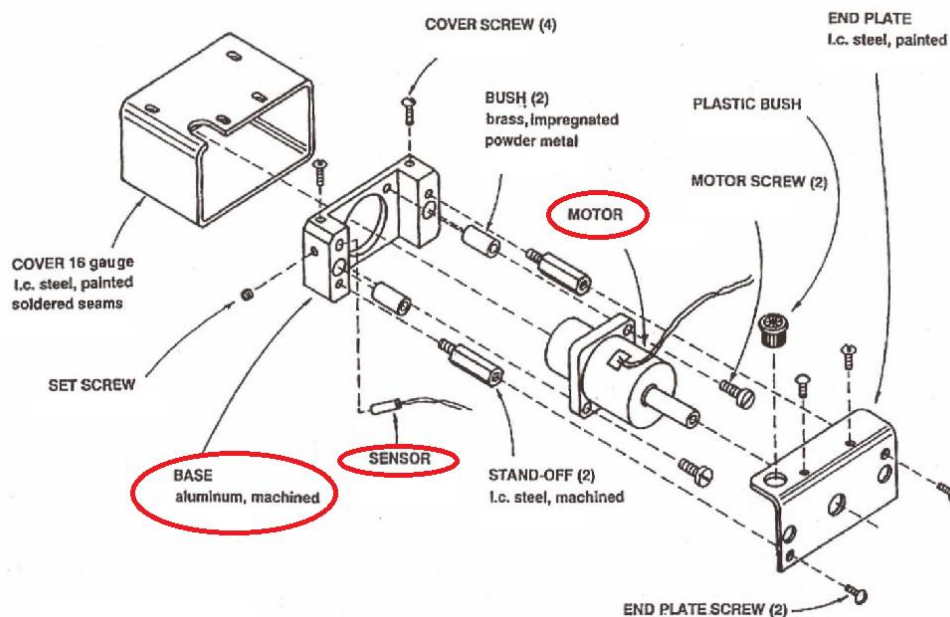
Tässä vaiheessa päätetään myös kokoonpanotapa eli suoritetaanko kokoonpano manuaalisesti vai automaattisesti. Tämän tutkimuksen kohteena olevan tuotteen kokoonpano suoritetaan manuaalisesti. Tarkastelun pohjana voidaan käyttää kohteen kokoonpanopiirustusta, mikäli sellainen on olemassa, mutta täysin uuden tuotteen kohdalla tarkastelua voidaan tehdä melko karkeankin luonnostelman pohjalta. Tärkeää kuitenkin on pyrkiä laatimaan tarkasteltavasta kohteesta mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman kuvaava luonnos, jotta eri osa-alueiden tarkastelun pohjaksi on jonkinlainen runko.

Vaihe 3.

Tapauskohtaisesti voidaan käyttää myös taulukkoa, johon kartoitetaan kokoonpanon osat. Käyttökelpoinen ratkaisu on käyttää kohteesta tehtyä ns. räjäytyskuvaa, jonka avulla pyritään määrittelemään kohteen kriittiset osat ja täten mahdollisesti ei kriittiset osat, jotka voidaan pyrkiä poistamaan uudelleensuunnittelulla tai yhdistämällä useampia osia yhdeksi. Tässä vaiheessa tärkein tavoite on pyrkiä löytämään kohteesta kohteita, jotka voidaan korvata jollakin muulla ratkaisulla kuin tarkasteluhetkellä käytössä oleva. Yleisesti ottaen DFMA-tekniikoiden tavoitteena on vähentää konstruktion osien määrää ja siten helpottaa ja nopeuttaa kokoonpanoa.

Tarkasteltaessa konstruktion kokoonpanoa sekä olemassa olevan suunnitelman kannalta että uusien ideoiden pohjalta, määritellään eri kokoonpanovaiheiden vaatimat asennusajat. Eri rakennevaihtoehtojen vaatimat asennusajat toimivat mittareina, joiden pohjalta ei konstruktiovaihtoehdot voidaan asettaa keskenään paremmuusjärjestykseen.

Kuvassa 3.4 on esimerkki kokoonpanosta, jossa erään kokoonpanon rakenne on purettu osiin ja määritelty kokoonpanon kriittiset komponentit. (Eskelinen, H. 2012)



Kuva 3.4. Konstruktion kokoonpano purettuna osiin.

Vaihe 4

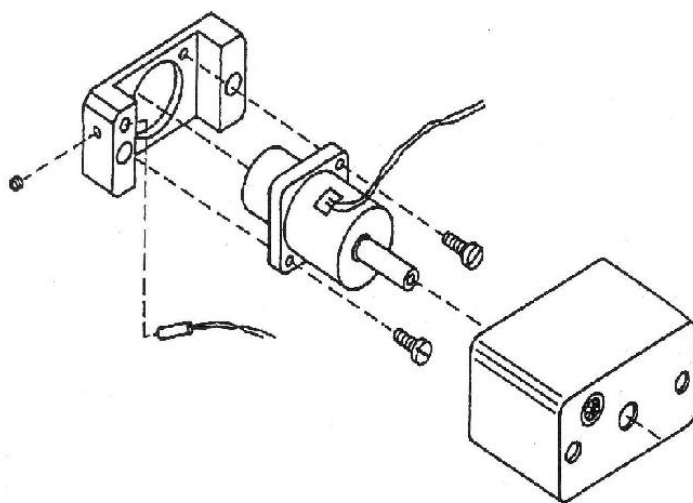
Valitun kohteen komponentit käydään läpi yksi kerrallaan ja määritellään kunkin osan kokoonpanoon tarvittava aika. Alla on esitettyinä kuvassa 6.1 esitetyn kohteen kokoonpanon vaatima kokonaisaika.

• Item	• Number	• Critical parts or subassemblies	• Assembly Time(s)
• Base	• 1	• 1	• 3.5
• Bush	• 2	• 0	• 12.3
• Motor Subassembly	• 1	• 1	• 9.5
• Motor Screw	• 2	• 0	• 21.0
• Sensor Subassembly	• 1	• 1	• 8.5
• Setscrew	• 1	• 0	• 10.6
• Standoff	• 2	• 0	• 16.0
• End plate	• 1	• 0	• 8.4
• End-plate screw	• 2	• 0	• 16.6
• Plastic bush	• 1	• 0	• 3.5
• Thread lead	• -	• -	• 5.0
• Reorient	• -	• -	• 4.5
• Cover	• 1	• 0	• 9.4
• Cover Screw	• 4	• 0	• 34.2
• TOTALS	• 19	• 3	• 160.0

Kun kohde on pilkottu osiin ja määritelty kokonaisuuden eri osa-alueet, aloitetaan korvaavien ratkaisujen kartoittaminen ja ideoiminen. Edellä esitetyssä esimerkissä päädyttiin ratkaisuun, jossa konstruktiota muutettiin seuraavasti:

- Erillinen kansi ja pääty korvataan yhdellä osalla
- ohjaustapit ja osa ruuveista korvataan kotelon muotoilulla ja pikakiinnityksillä.

Uusi konstruktio on esitetty kuvassa 3.5.



Kuva 3.5. DFMA-analyysin avulla luotu uusi rakenne. (luentomateriaali)

Vaihe 5

Lopuksi uudelle rakenteelle suoritetaan vastaava tarkastelu kuin alkuperäiselle rakenteelle, jotta voidaan todentaa saavutettu muutos ja sen vaikutus verrattaessa alkuperäistä ja uudelleen suunniteltua tuotekonstruktiota.

DFMA- vertailulaskelma:

• Item	• Number	• Critical parts or subassemblies	• Assembly Time(s)
• Base	• 1	• 1	• 3.5
• Motor Subassembly	• 1	• 1	• 4.5
• Motor Screw	• 2	• 0	• 12.0
• Sensor Subassembly	• 1	• 1	• 8.5
• Setscrew	• 1	• 0	• 8.5
• Plastic Cover	• 1	• 0	• 4.0
• TOTALS	• 7	• 3	• 41.0

Voidaan todeta, että uudessa rakenteessa on saavutettu huomattava muutos kokoonpanon osien määrässä ja täten sen kokoonpaneminen on nopeutunut huomattavasti. Tarvitavien osien lukumäärän laskiessa saavutetaan juuri niitä etuja, joita tuotteen rakenteen yksinkertaistamisella pyritään saavuttamaan. Uusien vaihtoehtojen ratkaisujen löytämisessä ja kartoittamisessa tulee huomioida mahdollisimman kattavasti jo olemassa olevat erilaiset ratkaisut eri tuoteperheissä. Synergiaetujen kartoittaminen ja hyödyntäminen on oleellinen osa iterointiprosessia, joka muodostaa analyysin perustan. Arvioitaessa kokoonpanoon kuluvaa aikaa ja muita kokoonpanon tuomia rajoituksia on ensiarvoisen tärkeää, että paikalla on riittävän kokemuksen omaava kokoonpanon edustaja.

3.5 Yhteenveto

Kokoonpano on tuotteen valmistamisessa viimeinen vaihe, jossa tuote kokoonpannaan osista ennen tuotteen testaamista ja toimittamista eteenpäin asiakkaalle. Täten kokoonpanovaiheessa suunnittelun osuus on jo tehty ja esille mahdollisesti tulevia ongelmia ei voida enää kokoonpanovaiheessa korjata kyseisen tuotteen kohdalla. Suunnittelu taas puolestaan on tuotteen koko elinkaarella aivan alkupäässä ja siten suunnitteluvaiheessa tulisi pyrkiä huomioimaan mahdollisimman kattavasti kaikki tuotteen valmistuksessa jatkossa eteen tulevat asiat. Suunnittelussa oikein tehdyt ratkaisut edesauttavat tuotteen valmistamista myöhemmissä vaiheissa, mutta väärillä ratkaisuilla saatetaan hankaloittaa tuotteen kokoonpanoa merkittävästi. Kokoonpanossa käytettävien liittämismenetelmien valinta tehdään jo suunnitteluvaiheessa ja se riippuu kyseessä olevan liitoksen vaatimuksista, osien materiaaleista sekä toisaalta käytettävissä olevasta tekniikasta. Usein kokoonpanossa voitaisiin käyttää useampaa eri menetelmää ja tällöin on tärkeää valita parhaiten kulloiseenkin käyttöön soveltuva menetelmä. Esimerkkinä voidaan mainita liitoksen tekeminen ruuvikiinnityksellä, hitsaamalla tai esimerkiksi kutisteliitoksella. Kaikki edellä mainitut menetelmät asettavat kokoonpanolle hieman erilaisia vaatimuksia ja siten parhaiten soveltuvan menetelmän valinta kulloiseenkin tarpeeseen on ensiar-

voisen tärkeää. Jotta eri vaihtoehtoja voitaisiin verrata ja löytää parhaiten kohteeseen soveltuva menetelmä, on pyrittävä arvioimaan tuotteen kokoonpantavuutta. Tähän on kehitetty lukuisia erilaisia arviointimenetelmiä, joista edellä on esitelty muutamia.

Karkeasti tiivistettynä voidaan todeta, että kokoonpanolähtöisessä suunnittelussa tulisi pyrkiä mahdollisuuksien mukaan vähentämään tuotteen osia ja kokoamiseen tarvittavia eri työvaiheita. Toisaalta komponenttien muotoilun avulla pitäisi pyrkiä minimoimaan komponenttien virheelliset liitokset keskenään. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi erilaisten ei-symmetristen muotojen avulla, jolloin osan liittäminen onnistuu vain oikealla tavalla. Ylilaadun tekeminen on myös tarpeetonta tavoiteltaessa kustannustehokasta kokoonpanoa. Tämän vuoksi tulisi pyrkiä esimerkiksi välttämään tarpeetoman tarkkoja toleransseja kohteissa, joissa tarkalla sovitteella ei saavuteta tuotteen toiminnan tai rakenteen kannalta merkittävää hyötyä.

4 VAIHTEIDEN KOKOONPANO

Tutkimuksen aluksi kartoitettiin valitun kohdealueen tuotesuunnittelun ja tuotannon tämänhetkinen tilanne ja nykyisin käytössä olevat menetelmät ja käytännöt. Tässä yhteydessä pyrittiin kartoittamaan myös vaatimukset ja erilaiset rajoitteet, jotka ohjaavat ja rajoittavat tuotteen suunnittelua tietyissä puitteissa. Eri vaihdetyyppien suunnitteluvaiheessa toimintaa ohjaavat asiakkaan vaatimukset, aiemmat konstruktiot ja itse lopputuotteen aiheuttamat rajoitukset lopulliseen konseptiin. IG ja WG puolella on eroja mm. asiakasvaatimuksien suhteen. Tutkimusmenetelminä tässä työssä käytettiin sekä kirjallisuustutkimusta että avainhenkilöiden kanssa käytyjä keskusteluja. Tämän diplomityön tekijä on aiemmin työskennellyt Moventas Gears Oy:ssä ja täten havainnot perustuvat osittain myös omakohtaiseen kokemukseen aiheesta. Tässä tutkimuksessa pääpaino oli tarkastella vaihteiden valmistusta kokoonpanon näkökulmasta.

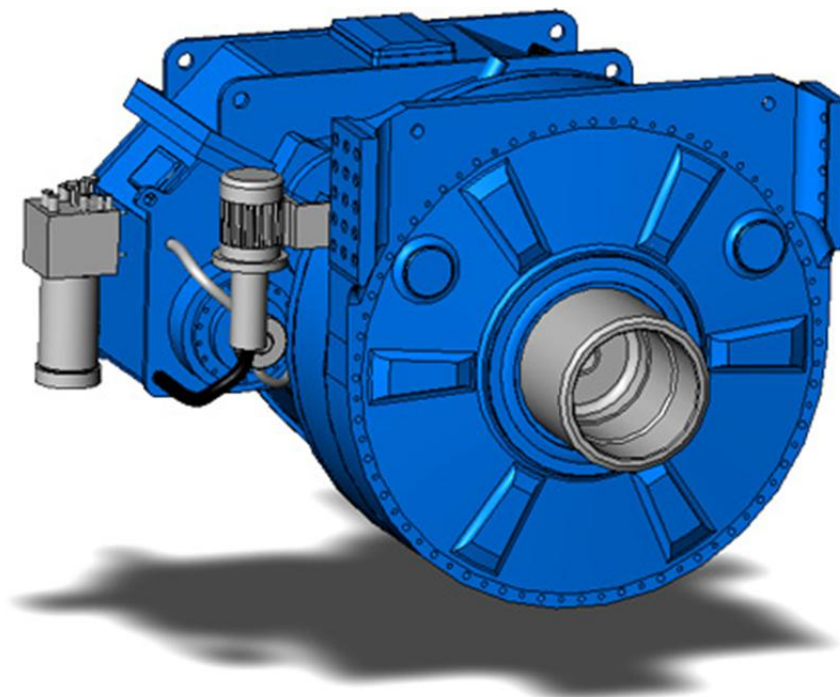
Vaihteiden huoltamiseen liittyvät näkökannat rajataan pääosin tutkimuksen ulkopuolelle, mutta liittyessään oleellisesti valmistuksen aikaiseen toimintaan ja ratkaisuihin, huomioidaan myös huollon kannalta oleelliset seikat. Tutkimuksessa tarkasteltavat vaihteet valmistetaan Moventaksen Suomen yksiköissä siten, että tuuliturbiinivaihteiden valmistus tapahtuu pääasiallisesti yrityksen Ikolan tehtaalla Jyväskylässä ja teollisuusvaihteiden valmistus yrityksen Rautpohjan yksikössä Jyväskylässä. Näiden mainittujen lisäksi osia valmistetaan myös alihankintana sekä koteloiden osalta Moventaksen Karkkilan yksikössä.

4.1 Vaihteen rakenne ja tehtävät

Erilaisissa teollisissa sovelluksissa käytettävät vaihteet muodostavat suuren joukon erilaisia ratkaisuja erilaisiin tarpeisiin. Käytettävät vaihteet voivat poiketa toisistaan niin rakenteen kuin ominaisuuksien suhteen, mutta yhteistä lähes kaikille vaihteille on niiltä pääasiallisesti vaadittavat ominaisuudet. Vaihdetta käytetään kahteen eri tarkoitukseen ja nämä ovat nopeuden nosto tai lasku sekä momentin muuttaminen. Sovelluksesta riippuu, mitä ominaisuutta varten vaihdetta käytetään. Moventas Gearsin valmistamat voimansiirtoratkaisut soveltuvat moniin eri käyttötarkoituksiin raskaan teollisuuden piirissä. Edellä mainitulla tavalla yrityksen tuotteet jakaantuvat kahteen pääkategoriaan (IG / WG) ja näiden lisäksi liiketoiminnasta osan muodostaa huoltotoiminnot (Service).

Tuuliturbiineissa vaihteen tarkoitus on nopeuden nostaminen generaattoria varten. Generaattorin avulla mekaaninen pyörimisliike muutetaan sähköenergiaksi. Tyypillinen tuuliturbiinivaihide koostuu kotelosta, planeettapyöristä sekä akseleista, joiden avulla voiman siirto hammaspyörältä toiselle toteutetaan. Planeettaportaita voi olla useita riippuen halutusta välityksestä ja vaadittavista momenteista.

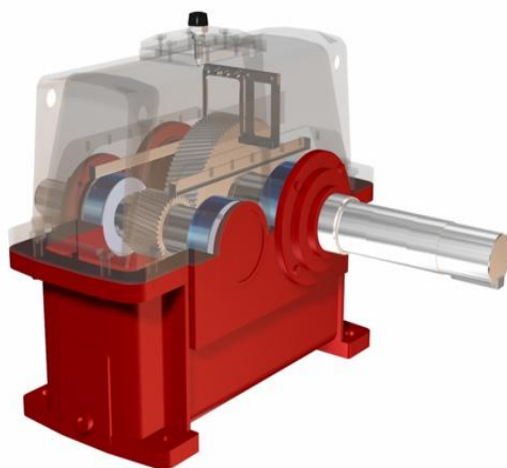
Kuvassa 4.1. on esitetty tyypillinen tuuliturbiinivaihde PLH-1400V80. Kyseinen vaihde muuntaa tuulivoimalla aikaansaadun liikkeen generaattorin avulla sähköenergiaksi. Tuuliturbiinivaihteiden suunnittelussa suunnittelua ohjaavana tekijänä nousee esille vaihteen käyttöympäristö sekä sen aiheuttamat haasteet vaihteen rakenteelle. Tuuliturbiinissa vaihteen koko on ennalta varsin tarkasti rajattu ja sen koko ja paino tulee huomioida suunnitteluvaiheessa tarkoin. Vaihteen asentamisen ja huoltamisen kannalta käyttökohteen hankala sijainti korkealla tuulimyllyn nasellissa aiheuttaa omat haasteensa. Vaihde joudutaan nostamaan naselliin, joten kaikki ylimääräinen paino vaikeuttaa asennustyötä niin ensiasennuksen aikana kuin huoltotoimenpiteiden yhteydessä. Viimeisimpiä innovaatioita tuulivaihteiden kohdalla onkin uusi FusionDrive konsepti, jossa vaihde ja generaattori on yhdistetty mahdollisimman kompaktiksi pakettiksi, jolloin vaihteen vaihtaminen on mahdollista tehdä nasellin takalaidassa olevasta luukusta purkamatta tuulimyllyn lapoja vaihdon aikana. Tuulivaihteiden vaatimukset ovat erittäin tarkasti määritellyt, koska niiden huoltaminen ja vaihtaminen on edellä mainituista syistä johtuen varsin hankalaa. Lisäksi tuulivoimaloiden ympäristövaatimukset ovat erittäin tiukat. Vaikka tuulienergian hyödyntäminen ei sinällään aiheuta merkittäviä ympäristöuhkia, on voimaloiden perustaminen yleisesti aiheuttanut jossain määrin vastustusta. Merkittävimpänä haittana tuulivoimalan välittömässä läheisyydessä asuvien henkilöiden taholta koetaan yleensä tuulivoimalan aiheuttama matalataajuinen ääni, joka tunkeutuu rakenteiden läpi voimalan ympäristön asuinrakennuksiin. Tämän vuoksi tuuliturbiineissa käytettäville vaihteille on määritelty erittäin tiukat vaatimuksen niiden aiheuttaman äänen sekä tärinän suhteen. Jokainen valmistettu tuulivaihde testataan tarkasti eikä vaihdetta päästetä tuotannosta eteenpäin ennen kuin vaihde täyttää sille asetetut vaatimukset.



Kuvassa 4.1. Tuuliturbiinivaihde, PLH-1400V80. (Moventas Gears, koulutusmateriaali)

Teollisuusvaihteissa vaihteen tarkoituksena on yleensä momentin nostaminen. Tällöin nopeampi liike muutetaan vaihteen avulla hitaammaksi, mutta momentiltaan suuremmaksi. Esimerkiksi kaivosteollisuudessa on lukuisia eri sovelluksia, joissa vaihteen tehtävänä on muuttaa sähkömoottorin avulla toteutettu pyörimisliikkeen momentti suuremmaksi. Erilaiset jauhimet ja murskaimet vaativat suuria voimia ja näiden voimien aikaansaamiseen käytetään vaihteita.

Paperiteollisuudessa vaihteita käytetään erilaisten sekoittimien yhteydessä sekä paperikoneen telojen pyörittämiseen. Teollisuusvaihteiden huoltaminen on jossain määrin helpompaa, mikäli ajatellaan vaihteen käyttöympäristöä ja sen vaikutusta itse huoltamiseen. Vaihteet ovat yleensä helposti huollettavissa eikä huoltotoimenpiteiden suorittamiseen liity merkittäviä haasteita käyttöympäristön suhteen. Teollisuusvaihteilla on myöskään ole samanlaisia vaatimuksia esimerkiksi äänen suhteen kuin tuulivaihteilla. Tästä johtuen voidaan todeta, että tuulivaihteiden vaatimukset ovat pääsääntöisesti tiukempia. Kuvassa 4.2. on esitetty tyypillinen teollisuusvaihde, jollaista käytetään paperikoneessa pulpperien sekoittajan pyörittämiseen.



Kuva 4.2. Duetto-sarjan vaihde.(Moventas Gears, koulutusmateriaali, 2008)

4.1.1 Valukomponentit

Vaihteiden valmistuksessa käytetään valuja eri komponenttien valmistukseen. Pääasias-
sa valettavia osia ovat vaihteiden kotelorakenteet. Valaminen on valmistusteknisesti
melko vaativa menetelmä, mutta sen käyttöä puoltaa kustannustehokkuus tehtäessä suu-
ria sarjoja. Prototyypin kohdalla kotelo toteutetaan yleensä hitsattuna rakenteena,
mutta aloitettaessa suuremman sarjan tuotanto, tulee valukotelo kustannusmielessä jär-
kevämmäksi vaihtoehtoksi. Valukotelon valmistaminen vaatii esivalmistelua enemmän
johtuen valumallien valmistamisesta. Toisaalta hyödynnettäessä jo tehtyä suunnittelu-
työtä jatkossa voidaan suurissa sarjoissa saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Leimallista tässä tutkimuksessa tarkasteltavina oleville sekä IG-puolen että WG-
puolen vaihteille on suuri koko, mikä aiheuttaa omat vaatimuksensa kokoonpanon suh-
teen. Kaikki tarkasteltavat vaihteet ovat painoltaan niin suuria, että niiden liikuttelu vaa-
tii tehokkaita nostojärjestelmiä kokoonpanon eri vaiheissa. Toisaalta suurten kappalei-
den liikuttelu tekee kokoonpanosta haastavaa myös turvallisuuskohdat huomioiden.
Kokoonpanon aikana tehtävät työvaiheet tulisi saada toteutettua siten, että esimerkiksi
kattonosturissa roikkuvan kappaleen alle ei tarvitse missään tilanteessa mennä. Tämä
seikka tulee eteen varsinkin liitettäessä kotelon eri osia toisiinsa kokoonpanopisteessä.
Vaihdekoteloiden suunnittelua ohjaavat pitkälti vaihteelta vaadittavat välitykset ja akse-
leiden sijoitukset. Varsinkin tuuliturbiinivaihteissa vaihteen käyttöympäristö asettaa
tiukat rajat vaihteen ulkomitoille, jolloin suuret muutokset kotelon rakenteessa eivät ole
mahdollisia. Kotelo muodostuu useammasta osasta, mikä mahdollistaa vaihteen sisäosi-
en kasaamisen ylhäältä alaspäin kasaamalla.

4.1.2 Hammastetut osat

Voiman välittäminen vaihteessa toteutetaan hammastettujen komponenttien avulla. Käytännössä tarkoitetaan tällöin erilaisten hammaspyöröiden ja hammastettujen akseleiden (pinion) käyttämistä voiman siirtämiseen. Hammaspyöröiden mitat ja hampaiden määrä määräytyvät tarvittavista välityssuhteista ja halutuista momenteista. Lähtökohtana uudelle vaihteelle on asiakkaan vaatimuksien mukainen momentin siirto ja käyttöympäristön asettamat rajoitukset konseptin fyysisille mitoille

4.1.3 Standardiosat

Vaihteiden standardiosilla tarkoitetaan komponentteja, jotka voidaan ostaa valmiina eri toimittajilta. Pääasiassa tähän ryhmään kuuluu suuri määrä erilaisia liitoskomponentteja kuten ruuveja, muttereita, aluslevyjä, putkituksen toteuttamisessa käytettäviä kannakointeja, liitoskappaleita jne.

4.1.4 C-osat

C-osat ovat tyypillisesti osia, joiden merkitys teknisessä mielessä vaihteen toiminnan kanalta ei ole ratkaiseva. Tähän ryhmään kuuluu esimerkiksi erilaiset kannet ja muut piirustukselliset osat, jotka hankitaan tilaamalla alihankinnasta. C-osien määrittäminen on yrityksessä osto-osaston vastuulla eikä jaottelu sinänsä perustu täysin teknisiin yksityiskohtiin vaan vaihtelee jonkin verran eri vaihdetyypeillä.

4.1.5 Voiteluputkitus

Vaihteen toiminta perustuu voiman välittämiseen toistensa suhteen liikkuvien komponenttien avulla. Kulumisen ehkäisemiseksi mekanismeista tulee voidella johtamalla liikkuvien pintojen väliin voiteluainetta, jotta vältetään mekaanisen kontaktin aiheuttamilta vaurioilta ja saavutetaan laitteiden pidempi käyttöikä.

Vaihteiden voitelu voidaan toteuttaa useammalla eri menetelmällä käyttökohteesta riippuen. Menetelmänä voidaan käyttää joko kylpy-, roiske- tai painevoitelua. Valittava voitelumenetelmä riippuu käyttökohteesta ja sovelluksesta. Pienissä vaihteissa, joiden avulla välitettävät voimat ovat pieniä, voidaan käyttää myös rasvavoitelua, mutta tässä tutkimuksessa tarkasteltavien vaihteiden kohdalla käytetään aina öljyvoitelua vaihteiden koosta ja käytettävistä voimista johtuen.

4.1.6 PPLH-2900.1 kokoonpano

Vaihde koostuu useasta eri komponentista ja kokoonpanossa vaihde kokoonpannaan osakokoonpanoista, joiden kasaaminen tehdään omissa työpisteissään. Tyypillinen tuuliturbiinivaihde sisältää noin 200 osanimikettä, kun koko vaihde jaetaan osiin. Näistä suuren osan muodostavat erilaiset standardikomponentit kuten esimerkiksi mutterit, ruuvit, erilaiset laipat, tiivistimet jne. Standardi komponentit hankitaan toimittajilta suu-

remmissä erissä. Erilaisten pienosien hankkiminen toimittajilta on sinänsä varsin helppoa ja suurissa erissä hankittaessa myös kustannukset yksikköä kohti pienenevät. Toisaalta kyseisten osien eri variaatioiden määrä lisää aina mahdollisuutta siihen, että käyttöön otetaan väärä osa. Tämä on varsinkin ruuvien kohdalla mahdollista, koska eri tuoteteisiin käytettävät ruuvit poikkeavat joskus vain esimerkiksi lujuusluokkansa osalta toisistaan. Kaikkien osakokoonpanojen suorittaminen kuin myös varsinaisen pääkokoonpanon suorittaminen on ohjeistettu sähköiseen muotoon ja ohjeet löytyvät työpisteiden yhteydessä olevilta tietokoneilta. Tarvittavat kokoonpanopiirustukset on tulostettu paperille kokoonpanopisteiden yhteydessä oleville tauluille. Lisäksi kulloinkin kasattavien vaihteiden osaluettelot löytyvät työpisteistä. Vaihteiden kokoonpanoa tehdään tilanteesta riippuen kahdessa vuorossa jolloin aamuvuoron jälkeen vuoronvaihdon yhteydessä pidetään lyhyt vuoronvaihtopalaveri, johon osallistuvat kaikki kokoonpanijat sekä työnjohto. Vuoronvaihdossa käydään tilanne läpi ja varmistetaan, että oleellinen tieto siirtyy aamuvuorolta iltavuorolle.

4.1.7 Akseleiden pesu ja laakerointi

Vaihteen kokoaminen aloitetaan vaihteeseen tulevien akseleiden pesemisellä ja laakerointiin asentamisella. Kaikki tuulivaihteeseen tulevat osat tuodaan kokoonpanosastolle pesulaitteiden kautta, millä pyritään varmistamaan osien puhtaus enne kokoonpanoa. Kuvassa 4.3 on tuulivaihteen akseleita ennen pesua.



Kuva 4.3. Hammasakseleita ennen pesua.

4.1.8 Etuosan ja kehäpyörän pesu ja kokoonpano

Tuulivaihteen etuosan ja kehäpyörän pesu ja yhdistäminen tehdään yhdessä työpisteessä, joka sijaitsee kokoonpanolinjan alkupäässä. Työvaiheen suorittaa yksi kokoonpanija, joka asentaa etuosan kehäpyörään käyttämällä tarkoitukseen hankittua momenttiväännintä. Komponentit tulevat kokoonpanoalueelle pesukoneen kautta. Kuvassa 4.4. on kehäpyörä ja etuosa ennen yhdistämistä.



Kehäpyörä



Etuosa

Kuva 4.4. Kehäpyörä ja etuosa

Kehäpyörän ja etuosan yhdistämiseen käytettävät pultit ja sokat ovat tarkasti määriteltäviä vaadittavien lujuusarvojen pohjalta.

4.1.9 Planeetankantajan kokoonpano

Hammaspyörät laakeroidaan laakerointipisteessä, joka on ylipaineistettu. Ylipaineistuksella pyritään ehkäisemään pölyn ja muiden likapartikkeleiden pääsy kokoonpanoalueelle, jossa laakerointi suoritetaan. Moventas on kehittänyt hammaspyörien laakerointiin konstruktion, jossa hammaspyörä itsessään muodostaa sen sisälle asennettavan laakerin ulkokehän. Tällä ratkaisu on osaltaan auttanut pienentämään vaihteen osien määrää.

Pesun ja laakerointien jälkeen planeetapyörät asennetaan planeetankantajaan. Esimerkiksi kuvissa esiintyvässä planeetankantajassa on 3 planeetapyörää. Asennuksen jälkeen kasattu kantaja jää odottamaan pääkokoonpanoon siirtoa. Kuvissa 4.5 – 4.7. on edellä mainitut komponentit.



Kuva 4.5. Planeetankantajan runko-osa.



Kuva 4.6. Planeetapyörä.



Kuva 4.7. Valmiiksi kasattu planeetan kantaja.

Pleneettapyörien avulla momentti siirretään aurinkoakselille, joka on esitetty kuvassa 4.8.



Kuva 4.8. Aurinkoakseleita menossa pesuun.

4.1.10 Kotelon valmistelu pääkokoonpanoa varten

Ennen kokoonpanoa vaihteen kotelo avataan ja pestään pesukoneessa. Samalla se tarkastetaan mahdollisten epäpuhtauksien varalta. Kaikki kierteytykset ja muut koneistukset tarkistetaan ja tarvittaessa havaitut puutteet korjataan. Pesty kotelo siirretään lie-riökokoonpanoon, jossa siihen asennetaan tarvittavat hammasakselit, voiteluputkitus sekä tarkastusluukut. Tässä vaiheessa asennetaan myös öljynpinnan tarkastuslasit. Kuvassa 4.9. vaihteen kotelo.



Kuva 4.9. Vaihteen kotelo.

4.1.11 Pääkokoonpano

Pääkokoonpanossa kaikki alikokoonpanot yhdistetään kokonaiseksi vaihteeksi. Alikokoonpanot ovat etuosa, planeetankantaja sekä lieriö. Pääkokoonpanon jälkeen vaihde siirretään koeajokenttään testattavaksi. Mikäli vaihde ei täytä sille asetettuja vaatimuksia se palautetaan takaisin kokoonpanoon jatkotoimenpiteitä varten. Kuvassa 4.10. on vaihteen pääkokoonpanopaikka.



Kuva 4.10. Pääkokoonpano, jossa osakokoonpanot yhdistetään vaihteeksi.

Hyväksytysti koeajon läpikäynyt vaihde siirretään pesun kautta maalaukseen, minkä jälkeen vaihteelle suoritetaan loppuvarustelu. Loppuvarustelussa vaihteeseen asennetaan tarvittavat sähköistykset ja kaikki tarvittavat merkkikilvet sekä suojataan vaihde kuljetuksen ajaksi. Loppuvarustelussa vaihteen dokumentointi viimeistellään ja kaikki tarvittavat dokumentit täytetään. Valmis vaihde on tämän jälkeen valmis toimitettavaksi asiakkaalle. Kokoonpanotyövaiheet suoritetaan kahden hengen työpareina lukuun ottamatta etuosankokoonpanoa ja planeetankantajan kokoonpanoa, jotka suorittaa yksi henkilö. Pareina tehtävät kokoonpanot ovat perusteltuja johtuen kokoonpanojen suuresta koosta, mikä aiheuttaa omat haasteensa komponenttien käsittelylle.

4.1.12 Koeajo ja varustelu

Pääkokoonpanosta valmistunut vaihde testataan koeajossa, minkä jälkeen hyväksytysti koeajon läpäissyt vaihde maalataan ja lopuksi varustellaan. Koeajo suoritetaan tuulivaihteille ajamalla kahta vaihdetta parina koeajokentässä. Testin aikana vaihteista testataan värähtelytasot ja äänenvoimakkuus, jotka ovat tuulivaihteille erittäin tarkasti määritellyt. Ennen koeajon aloittamista vaihteet puhdistetaan ajamalla niiden läpi puhdistettua öljyä ja seuraamalla öljyn likapartikkelitasoa. Mikäli vaihteen sisällä on epäpuhtauksia, saattaa tämä puhdistusvaihe kestää jopa useita vuorokausia. Tämän vuoksi kokoonpanon aikainen puhtaus on ensiarvoisen tärkeää. Kuvassa 4.11. on vaihteiden koeajokenttä, jossa vaihteet testataan ennen maalausta.



Kuva 4.11. Koeajokentässä oleva vaihdepari

Kuvassa 4.12. on valmis vaihde varustelun jälkeen.



Kuva 4.12. Valmis vaihde.

4.2 Yhteenveto

Moventas valmistaa vaihteita erilaisiin tarkoituksiin ja ne voidaan jakaa kahteen pääryhmään, joista toisen muodostavat tuulivoimaloissa käytettävät tuuliturbiinivaihteet ja toisen eri teollisuuden aloilla käytettävät teollisuusvaihteet. Teknisessä mielessä kummassakin vaihderyhmässä vaihteella on kaksi päätarkoitusta, jotka ovat nopeuden nosto tai lasku sekä momentin muuttaminen. Teollisuusvaihteiden valmistukselle on tyypillistä, että erilaisia versioita on erittäin paljon ja valmistettavat sarjat on pieniä. Tämä johtuu osittain siitä, että teollisuusvaihteita käytetään erittäin monenlaisissa sovelluksissa, joiden vaatimukset vaihteelle poikkeavat toisistaan huomattavasti esimerkiksi käytettävien voimien tai fyysisten mittojen osalta. Tuuliturbiinivaihteiden osalta varioituvuus on huomattavasti pienempää, mutta valmistettavat sarjamäärät kulloinkin tuotannossa olevilla vaihteilla ovat huomattavasti isompia. Tämän vuoksi tuuliturbiinivaihteiden valmistus on enemmän sarjatuotantomaista kuin teollisuusvaihteiden valmistus. Tuuliturbiinivaihteille asetetaan erittäin tarkat vaatimukset vaihteiden testauksen osalta verrattuna muihin teollisuusvaihteisiin. Tästä johtuen tuulivaihteissa sovellettavat ratkaisut täyttävät yleensä myös teollisuusvaihteille asetettavat vaatimukset tiettyjen teknisten yksityiskohtien osalta. Esimerkkinä voidaan mainita käytettävät toleranssit ja pinnanlaatuvaatimukset.

5 VAIHDESUUNNITTELUN NYKYTILANNE

Tämän tutkimuksen aikana on Moventaksella tapahtunut merkittäviä muutoksia yrityksen organisaatorakenteessa koskien IG ja WG vaihteiden tuotantoa. IG ja WG vaihteiden tuotanto on jaettu selkeästi omiksi organisaatioikseen vuoden 2014 alusta. Niin kuin jo aiemmin todettiin, on tuulivaihteiden tuotanto lähempänä sarjatuotantoa kuin teollisuusvaihteiden tuotanto. Tämä seikka aiheuttaa sen, että tuulivaihteen suunnittelussa tehdyt ratkaisut tulevat todennäköisemmin vaikuttamaan suureen vaihdemäärään sarjakokojen ollessa useita kymmeniä, jopa satoja vaihteita. Teollisuusvaihteiden kohdalla ratkaisut koskettavat pienempää joukkoa vaihteita.

5.1 IG ja WG vaihteiden käyttöympäristö

Tuuliturbiinivaihteille ja muussa teollisuuskäytössä käytettäville vaihteille asetettavat vaatimukset poikkeavat toisistaan joiltain osilta varsin paljon ja tämä seikka vaikuttaa myös tuotantoteknisiin ratkaisuihin. Vaatimusten erilaisuus myös vaikuttaa siihen, kuinka paljon eri asiat vaikuttavat vaihteen rakenteen suunnitteluun ja siihen miten eri asioita painotetaan. Karkeasti voidaan todeta, että tuuliturbiinivaihteille asetettavat vaatimukset ovat korkeampia mitä tulee esimerkiksi vaihteen ympäristövaikutuksiin mm. äänekkyys. Viime aikoina tuulivoimaloiden perustamisen merkittävänä haasteena on ollut juuri ympäristövaikutusten mukanaan tuomat rajoitukset. Teollisuusvaihteissa vastaavat ominaisuudet eivät ole niin merkittävässä roolissa johtuen niiden käyttöympäristöstä, joka useimmiten sallii mm. mainitun vaihteen äänekyyden jne. Tästä seikasta johtuen WG vaihteille käytettävät kriteerit käyvät pääsääntöisesti myös IG puolen vaihteisiin, mutta toisin päin eivät. (Pertti Kolsi 24.4.2013) Tämä vaatimusten erilaisuus tulee huomioida myös vaihteiden valmistuksessa siten, että pyritään välttämään ”yliläadun” tavoittelu silloin kun se ei ole perusteltua ja yrityksen toiminnan kannalta järkevää. Eli on turha panostaa siihen, mikä ei loppuasiakkaan näkökulmasta tuo lisäarvoa. IG puolella asiakaskunnan muodostavat pääasiassa kaksi pääaluetta: puunjalostus sekä kaivostoiminta. (Pertti Kolsi 24.4.2013)

5.2 Tulevaisuuden tavoitteet

Tuulivoimaloiden koon ja tehon kasvaessa on myös voimaloiden komponenttien kasvatava. Kehitys on ollut varsin voimakasta ja nopeaa kun verrataan 1980-luvun voimaloiden kokoa nykyisiin suurimpiin voimaloihin. 1980-luvulla tyypillinen tuulivoimala oli noin 15 metriä korkea kun nykyisin suurimpien voimaloiden keskeinen sijaitsee 125 kor-

keudella lapojen halkaisijan ollessa jopa 190m. (<http://www.power-technology.com/features/featurethe-worlds-biggest-wind-turbines-4154395>)

Suurentunut voimaloiden koko vaatii myös roottoreiden ja koko voimalan komponenttien suurentamista. Sinänsä tuotantotehtailla voidaan nykyisin valmistaa jo varsin suuriakin vaihteita, mutta käytännössä haasteeksi muodostuu itse voimaloiden pystyttäminen. Voimalan pystyttämisessä tarvitaan aina suurempi nosturi kuin itse voimala ja raskaiden osien nostaminen korkeuksiin muodostuu haasteelliseksi. Myös huollon kannalta käyttöympäristö asettaa kovia vaatimuksia. Voimaloiden perusratkaisut ovat pysyneet 1980-luvulta lähes samoina, mutta koot ovat kasvaneet. Edelleen koon kasvattaminen on tulevaisuuden trendi, minkä vuoksi vaihteiden perusratkaisuihin on pyrittävä löytämään ratkaisuja, joiden avulla vaihteen fyysinen koko ei kasvaisi liian suureksi vaikka tehon kasvua pyritään hakemaan. Moventas on kehittänyt yhdessä The Switchin kanssa ratkaisun, jossa vaihde ja generaattori yhdistetään yhdeksi komponentiksi. Fusiondrive nimen saanut ratkaisu koostuu kahdesta peräkkäisestä planeettavaihteesta ja jälkimmäisen portaan kehäpyörän päälle integroidusta kestopagneettigeneraattorista. Kuvassa 5.1. esitetään FusionDriven konstruktion rakenne.



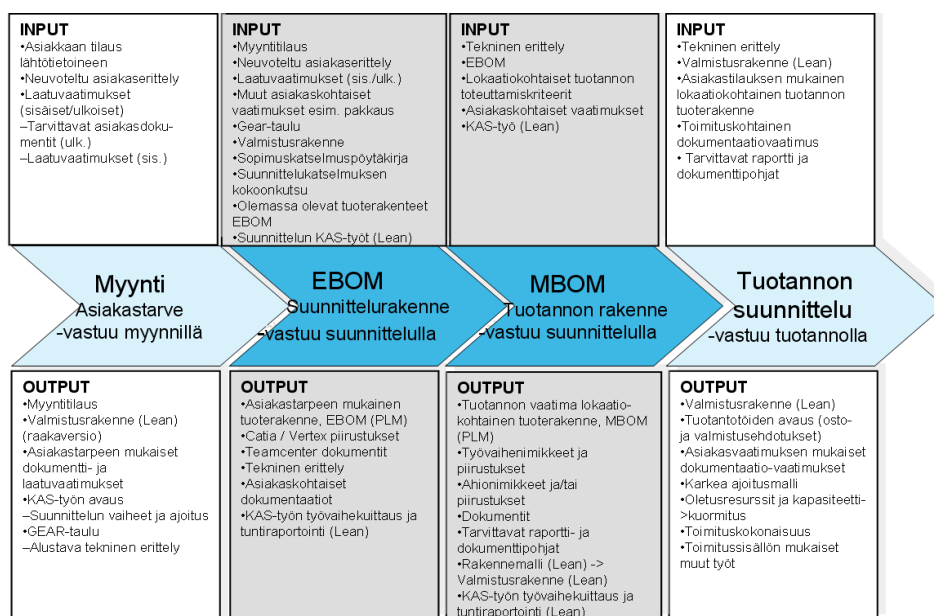
Kuva 5.1. FusionDrive vaihdekonspekti.(Lahtela, A. 2013)

Ratkaisu on erittäin kompakti mitoiltaan ja täten sen käsittely on huomattavasti helpompaa niin ensiasennuksen yhteydessä kuin huoltotilanteessa. Ratkaisussa yhdistetään samoja osia vaihteen ja generaattorin kesken, mikä osaltaan on auttanut vähentämään konseptin kokonaisosien määrää ja täten pienentänyt myös kokoonpanon työvaiheita. Uudesta konseptista puuttuvat kokonaan kaikkein vikaherkimmät komponentit kuten nopeat vaihdeportaat ja rasvassa pyörivät laakeroinnit. Vaihteen kokonaisvälityssuhde on saatu pudotettua pienemmäksi, koska integroitu generaattori pyörii puolino-

peudella.(Metalliteknikka, 12/2010, s.19-20) FusionDrive konsepti on hyvä esimerkki tulevaisuuden tavoitteista, joissa korostuvat tehojen kasvuvaatimukset, mutta toisaalta teknisten ratkaisujen kehittäminen kompaktimpaan ja helpommin käsiteltävään muotoon.

5.3 Vaihteiden suunnittelun lähtökohdat ja toteutus

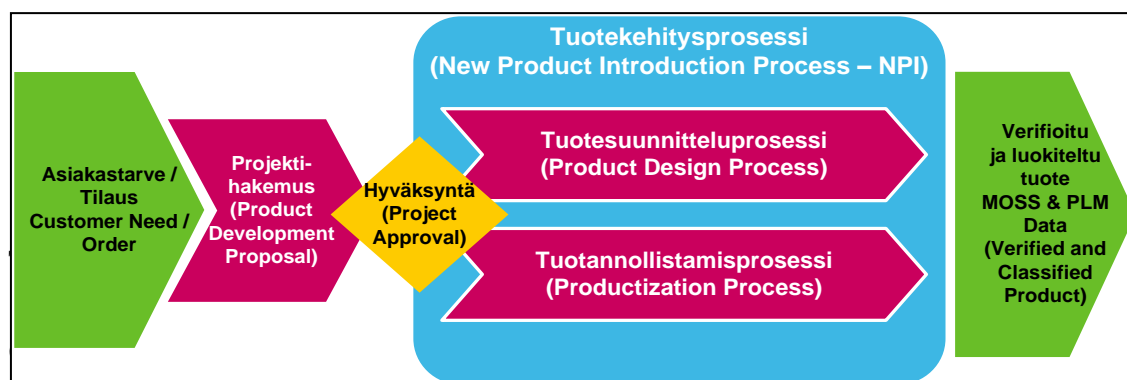
Aloitettaessa uuden vaihdekonsptin suunnittelu, on lähtökohtana markkinoilla vallitseva tilanne ja asiakkaan tarpeet. Uuden konseptin alkuvaiheessa myynnin osuus on merkittävä luotaessa pohjaa projektin toteutumiselle. Rajapinnat myynnin ja tuotannon suunnittelun välillä on eritelty suunnittelun I/O analyysiin kuvassa 5.2. esitetyllä tavalla. Kuvassa esitetään uuden tuotteen alkuvaiheen toiminnan ja eri sidosryhmien rooli projektin edetessä.



Kuva 5.2. Suunnitteluprosessin rajapinnat. (Moventas Gears Oy, 2014)

5.3.1 NPI-prosessin sisältö

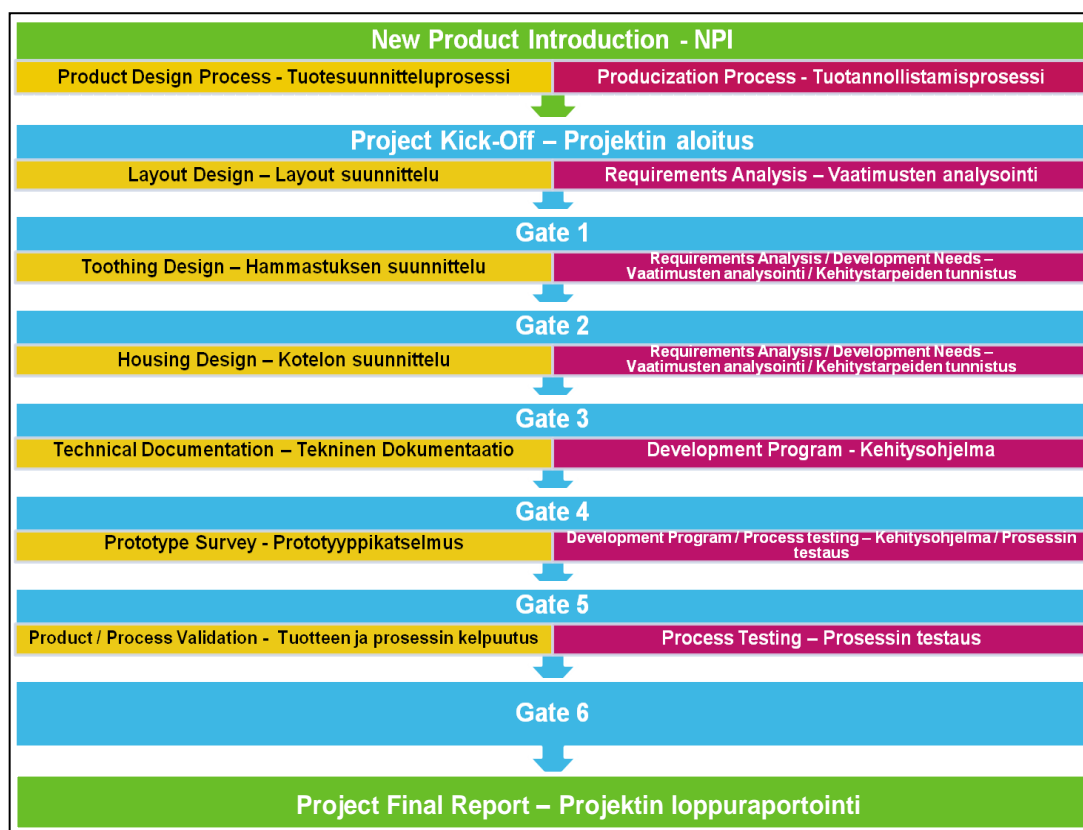
WG-puolella uuden tuotteen suunnittelussa käytetään ns. NPI-prosessia (New product introduction). Menetelmä sisältyy vaihteen suunnitteluprosessiin ja sen aikana pyritään huomioimaan sekä tuotesuunnittelu- että tuotannollistamisprosessi. NPI:n sijoittuminen tuotteen suunnitteluprosessiin on esitetty kuvassa 5.3.



Kuva 5.3. Tuotekehitysprosessin sijoittuminen uuden tuotteen kehityksessä.(Moventas Gears Oy)

Menetelmä on jaettu kuuteen vaiheeseen, joiden mukaisesti uuden tuotteen kehittämistä viedään eteenpäin. Kuvassa 5.4. on esitetty G6 menetelmän eri vaiheet. Käytännössä Gate-menetelmä etenee siten, että jo vaiheessa G1 on tulevan konseptin rakenne pitkälle määritetty ja tämän jälkeisissä vaiheissa muutoksien tekeminen suunnitelmaan on hankalaa ja aiheuttaa todennäköisesti merkittävästi kustannuksia, mikäli muutoksia tämän vaiheen jälkeen tehdään. Tämä tosiseikka nostaa muutosten tekemisen kynnyistä ja täten pienemmät muutostarpeet jäävät usein toteuttamatta. Tästä seuraa se vaatimus, että myös kokoonpanon näkökulma olisi hyvä olla tiedossa jo ennen G1 vaihetta. (Jarno Huikko 14.5.2014)

Yrityksessä on pyritty lisäämään suunnittelijoiden tietämystä kokoonpanon asettamista vaatimuksista ja huomioitavista asioista järjestämällä suunnittelijoille mahdollisuus tutustua kokoonpanoon käytännössä. Vuonna 2012 ja 2013 kaikki yrityksen suunnittelijat tutustuivat vaihteiden kokoonpanoon olemalla mukana kokoonpanossa muutamana päivänä jokainen vuorollaan. Tarkoituksena oli, että vaihteiden suunnittelijat saisivat hieman käytännön tietoa kokoonpanossa esille tulevista asioista ja mahdollisista ongelmista. Pyrkimyksenä oli myös osaltaan lisätä tuotannon ja suunnittelun välisiä kommunikaatiota ja lisätä tiedon siirtymistä kumpaankin suuntaan.



Kuva 5.4. NPI-prosessin sisältö.(Movents Gears Oy)

Edellä esitetty NPI-prosessi jakaantuu kuuteen vaiheeseen, joista jokaisessa on määritelty toimenpiteet, joiden tulee olla tehtynä ennen projektin hyväksymistä. Seuraavassa on esitetty eri vaiheiden sisältö yksityiskohtaisesti.

Gate 1

Layout suunnittelu

- Asiakasvaatimukset
- projektin budjetti
- kustannusarvio
- mittareiden määrittely (projekti ja tuote)
- toimitusaikataulu
- projektisuunnitelma
- layout piirustus
- laakerointien valinta
- erikoisvaatimukset
- poikkemalista
- myyntisuunnitelma
- tuotantomääräarvio
- komponenttien toimitusaika-arvio

- CWEA/UL/CSA luokittelu
- Alustava laatusuunnitelma
- FPQ
- FMEA
- kokoonpanoprosessin arviointi
- vikaantumisen arviointi
- teknologian kilpailukyky

Gate 2

Hammastettujen osien suunnittelu

- Layoutin hyväksyminen
- toimitusaikataulu
- tuotteen ja projektin mittareiden arviointi
- hammastus- ja työkalupiirrustukset
- testaus konsepti
- poikkeama listan päivitys
- tuotealustan määrittely
- CMaS (etävalvonta) huomioiminen
- testausohjelma
- kokoonpanoaikataulu
- valmistuksen kehitystarpeiden analysointi
- Item koodit
- Tilojen saatavuus (tuotantotilat)
- aineiden toimittajat (liimat, tiivisteet yms.)
- kokoonpanolaitteiden määrittely
- komponenttien käsittelyanalyysi

Gate 3

Kotelon suunnittelu

- Kotelon 3-D mallin hyväksyntä asiakkaalta
- toimitus aikataulu
- tuotteen ja projektin mittareiden arviointi
- kotelopiirrustukset
- muut kriittiset valukomponentit
- alustava FE-analyysi
- päivitetty poikkemalista
- päivitetty tuotealusta
- huollettavuus ja kokoonpanon arviointi
- materiaalien laatukriteerit
- koeajon määrittely
- kokoonpano aikataulu

- valmistuksen kehittämistoimet
- Item koodit
- Prototyyppi
- valujen saatavuus
- kielletty materiaalityöntekijä
- suunnittelu FMEA tehtynä
- kokoonpanoprosessi päivitetty
- kotelo- käsittely analyysi
- tarkistusluokkien sijoituksen analysointi

Gate 4

Tekninen dokumentaatio

- Toimitusaikataulu
- projektin ja tuotteen mittareiden arviointi
- valmistuspiirustukset
- kokoonpanopiirustukset
- C-osien piirustukset
- tekninen osaluettelo
- valmistuksen osaluettelo
- päivitetty poikkemalista
- komponentti- ja kokoonpanopiirustusten arviointi
- jäähdytys-, voitelu- ja suodatusjärjestelmät
- CMaS osaluettelo
- koeajon suunnitelma tehtynä
- kokoonpanoaikataulu
- O-sarjan vaatimusten analysointi
- valmistuksen kehittämisohjelma
- valmistuksen ohjeistaminen
- Prosessin tiedonkeruusuunnitelma
- Item koodit
- Prosessin FMEA tehtynä
- poissuljetut toimittajat
- QAP tehtynä (Quality action plan)
- kokoonpanoprosessi määritelty
- kokoonpanon komponenttiraportti tehty
- purkamistyökalut

Gate 5**Protyyppikatselmus**

- Toimitusaikataulu
- 0-sarjan aikataulu
- projektin ja tuotteen mittareiden arviointi
- päivitetty poikkemalista
- koulutukset
- 0-sarjan vastuut
- purkutyökalut testattu
- RTD kokoonpanoanalyysi
- RTD koeajoanalyysi
- valmistusprosessin suorituskyky
- valmistuksen aika- ja kustannusanalyysi
- hankinnan tarpeet sarjatuotannossa
- FPQ tehty
- laatuvirheanalyysi
- tarkastustaajuuden määrittely 0-sarjalle
- huolto- ja korjausohjeet tehty
- huollettavuuden palaute
- asennus- ja kuljetustelineet

Gate 6**Tuotteen ja prosessin kelpuutus**

- 0-sarjan tuotannon tunnusluvut
- projektin ja tuotteen mittareiden arviointi
- 0-sarjan laadun tunnusluvut
- tarkastusraportit saatavilla
- komponenttien valmistuksen kommentit
- osaluetton poikkeamat raportoitu
- 0-sarjan koeajotiedot saatavilla
- lopullinen poikkeamalista
- asiakkaan palaute
- päivitetty osaluettelo
- luokittelu
- koulutukset
- valmistuksen osaluettelo päivitetty
- MPP ja SOP tehty
- työlaitteet saatavilla
- kapasiteettisuunnitelma tehty
- toimittajien valinta tehty
- laatuohjeet tehty
- kokoonpano-ohjeet tehty

- varustelun asennusohjeet tehty
- varaosapiirustukset
- pakkausohjeet
- kuljetuslaitteet

(Moventas Gears Oy, 2014)

5.3.2 Suunnittelukatselmus

Uuden vaihdekonekonseptin alkuvaiheessa järjestetään suunnittelukatselmus, jossa tulevan projektin vaiheita käydään läpi. Käytännössä katselmus voidaan toteuttaa live-meeting periaatteella, jolloin osallistujat keskustelevalt keskenään omilta työpisteiltään kuulokkeiden välityksellä. Katselmukseen osallistuu henkilöitä suunnittelusta, myynnistä, laatuosastolta sekä kokoonpanosta. Tuleva projekti käydään pääpiirteittäin läpi ja osallistujat voivat esittää huomioita suunnitelmasta. Katselmuksesta tulisi laatia pöytäkirja, jotta katselmus tulee dokumentoitua ja arkistoitua yrityksen tietojärjestelmään. Tässä diplomityössä on painotettu nimenomaan kokoonpanon näkökulman tuomista suunnittelun alkuvaiheeseen ja tämän vuoksi olisikin tärkeää, että suunnittelukatselmukseen osallistuu kokoonpanon edustaja, jolla on hyvä kokemus vaihteen kokoonpanosta ja siinä esille tulevista huomioitavista seikoista. Käytännössä kokoonpanon edustajana tulisi olla kokenut kokoonpanija tai työnjohtaja, jolla on selkeä käsitys ja kokemus kokoonpanon aikana vastaan tulevista ongelmista.

5.4 Yhteenveto

Suunnittelutoiminta on organisoitu pohjautuen IG ja WG vaihteiden tuotantoon. WG puolella suunnittelu noudattaa määritettyä protokollaa, jossa suunnittelu on jaettu kuuteen eri vaiheeseen (NPI). Vaiheistuksessa tuotteen suunnittelu on jaettu varsin tarkasti osiin ja pyritty huomioimaan kaikki osa-alueet. Kokoonpanon kannalta huomioitavat seikat eivät kuitenkaan välttämättä tule huomioiduksi riittävän aikaisessa vaiheessa, jolloin muutoksien tekeminen jää toteuttamatta.

Teollisuusvaihteiden suunnittelussa ei sovelleta NPI-prosessia. Eri vaihdetyyppejä on teollisuusvaihdepuolella huomattavasti suurempi määrä verrattuna tuulivaihteiden tuotantoon.

6 VAIHTEEN DFMA-PROSESSI

Tässä kappaleessa käsitellään vaihteen suunnittelua kokoonpanon näkökulmasta käytännössä ja esitetään käytännön toimintatapoja, joiden avulla kokoonpanon vaatimukset tulisivat mahdollisimman hyvin huomioitua jo suunnitteluvaiheessa. Pohjana aiheen käsittelylle on tällä hetkellä tuotannossa oleva vaihdetyyppi (PPLH-2900.1), mutta siinä ohjeistus ei rajaa pois mitään vaihdetyyppejä vaan esitetyt näkökulmat ovat täysin sovellettavissa mihin tahansa vaihdetyyppeihin. Kyseistä vaihdetta käytetään tässä yhteydessä havainnollistamaan kokoonpanon analysointia ja siinä huomioitavia asioita.

Esitettävä toimintatapa pohjautuu tässä tutkimuksessa aiemmin esitettyyn teoriaan ja tavoitteena on soveltaa esitettyä teoriaa käytäntöön. Tavoitteena on saada luotua ohjeistus, jonka avulla toimintaa voitaisiin jatkossa tehostaa DFMA-menetelmien avulla.

Yrityksessä on käytetty tässä työssä esiteltyjä menetelmiä ja metodeja jo aiemminkin, mutta niiden soveltaminen käytäntöön on toistaiseksi ollut jossain määrin tapauskohtaista ja selkeä ennalta sovittu ja päätetty toimintatapa on puuttunut. Tämä on johtanut siihen, että eri projekteissa menetelmän soveltamista on toteutettu varsin tapauskohtaisesti ja varioiden. Tässä kappaleessa on tarkoituksena kasata yhteen toimintaperiaatteita edellä esitettyyn teoriaan pohjautuen, minkä avulla vaihteen suunnittelun alkuvaiheissa voitaisiin jatkossa entistä paremmin huomioida kokoonpanon asettamat vaatimukset ja haasteet. Tässä tutkimuksessa ei toteuteta kattavaa DFA-analyysiä vaihteen konstruktiolle, vaan esitetään toimintaperiaatteet, joiden mukaisesti analyysi voidaan suorittaa. Tavoitteena on kasata yhteen toimiva ohjeistus, jonka avulla tuotekehityksen toimintaa voidaan selkeyttää ja projektikohtaista varioituvuutta toiminnassa vähentää.

6.1 DFMA-menetelmä uuden vaihteen suunnittelussa

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli löytää keinoja, joiden avulla uuden vaihteen suunnitteluprosessiin saataisiin jo riittävän aikaisessa vaiheessa tieto kokoonpanon aiheuttamista vaatimuksista ja huomioitavista seikoista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kokoonpanon erityisvaatimukset tulisi olla suunnitteluosaston tiedossa NPI-prosessin gate 1 vaiheessa. Myöhemmin tuleva tieto aiheuttaa kustannuksia ja muutosten tekeminen on hankalampaa, koska myöhemmässä vaiheessa tehtävät muutokset konseptiin aiheuttavat muutostarpeita jo päätettyihin ratkaisuihin. DFMA-menetelmä mahdollistaa systemaattisen tavan analysoida käsiteltävänä olevaa konstruktiota painottaen kokoonpanoa ja valmistusta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yhteistyö eri tahojen kesken muodostuisi helpommaksi ja aiemmin tässä työssä mainittu ”seinän yli suunnittelu” vähenisi. Pyrkimyksenä on tällöin rinnakkaissuunnittelun roolin korostaminen ja siitä saatavat hyödyt. Tuotteen analysoiminen mahdollisimman kattavasti jo tuotteen elinkaaren alku-

vaiheessa on kokonaisuuden kannalta tärkeää, jotta vältetään tarpeettomat muutokset tuotannon myöhemmissä vaiheissa. Moventaksen puolelta toivottiin, että tutkimuksen avulla saataisiin luotua toimintatapa, jonka avulla vaihdesuunnittelun käyttöön saataisiin jatkossa riittävästi tietoa kokoonpanon erityisvaatimuksista ja ennen kaikkea että tuo tieto olisi käytössä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Niin kuin jo aiemmin tässä tutkimuksessa esitettiin, DFMA on yhdistelmä kokoonpano- ja valmistusprosessien suunnittelukysymyksistä. Tämän työn lähtökohtainen tarkastelutapa painottaa nimenomaan kokoonpanon näkökulmaa. Yhtä oikeaa tapaa toteuttaa analysointi ei ole vaan menetelmää sovelletaan yrityskohtaisesti huomioiden tuote ja organisaatio. Pääpiirteittäin DFMA- analysointi suoritetaan analysointi-uudelleensuunnittelu-analysointi iteraatiokierrosten avulla. Iteroinnilla tarkoitetaan menetelmää, jossa samoja työvaiheita toistetaan useita kertoja peräkkäin kunnes haluttu tulos saavutetaan. Näitä iteraatiokierroksia toistamalla opitaan pikkuhiljaa tunnistamaan tuotteeseen liittyvät ongelmakohdat, jolloin jatkossa analysointi voidaan tehdä yhä vähäisemmillä iteraatiokierroksilla. (Qvarnström, 1998, s.59)

Analyysoinnin vaiheet pääpiirteittäin:

- 1) Valitaan kohde, jota halutaan tarkastella kokoonpanon ja valmistettavuuden näkökulmasta. Tässä vaiheessa kohde voi olla vielä luonnostelun alkuvaiheessa tai jo tuotannossa oleva tuote, mutta jonka kokoonpantavuutta halutaan parantaa.
- 2) Asetetaan projektille tavoitteet kokoonpantavuus- ja valmistuskustannusten osalta. Tavoitteiden asettamisessa voidaan käyttää joko omien tuotteiden tai kilpailijoiden tuotteiden analysointituloksia.
- 3) Päätetään kokoonpanotapa ja valmistustapa karkealla tasolla. Tässä vaiheessa päätetään käytetäänkö kokoonpanossa automaatiota vai kootaanko tuote manuaalisesti. Tuote luonnostellaan valittuun kokoonpanomenetelmään liittyvien erityisvaatimusten mukaisesti.
- 4) Laaditaan konstruktiosta kokoonpanokaavio
- 5) Merkitään ongelmakohdat laadittuun kokoonpanokaavioon tai taulukkoon.
- 6) Merkitään kokoonpanokaavioon myös muualla havaitut epäkohdat. Tämä mahdollistaa ongelmien tarkastelun kokonaisuutena.
- 7) Kokoonpanokaavion pohjalta lähdetään poistamaan ongelmakohtia ja parantamaan konstruktiota suunnittelusääntöjä noudattaen, materiaali- ja liitosmenetelmiä soveltaen ja pyritään laatimaan kaikin puolin optimaalinen konstruktio. Parantelu tehdään yhteistyössä kaikkien toimintojen asiantuntijoiden kanssa.
- 8) Tarkastellaan aiemmin laadittua kokoonpanokaavioita ja katsotaan, onko kaikki ongelmat pystytty ratkaisemaan. Lisäksi käydään läpi huonolle konstruktiolle ominaisista piirteistä kertovat listat ja varmistetaan, että millekään toiminnolle ei ole aiheutettu uusia ongelmakohtia.
- 9) Konstruktion uudelleen analysointi

- 10) Kun DFA-analyysi on valmis ja vaatimusten mukainen, suoritetaan jäljelle jääville osille DFM-analyysi.

(Boothroyd et al. 1994)

6.2 Uuden tuotteen suunnitteluprosessin organisointi

Toteutettaessa suunnittelu tässä työssä esitettyjen DFMA-metodien mukaisesti tulee projekti organisoida siten, että kaikki mukana olevat resurssit ovat tietoisia omasta roolistaan ja koko projektin tavoitteista sekä prosessin käytännön etenemisestä. Haastatte- luissa yrityksen henkilökunnan kanssa on esille noussut huomio, että erilaisia projekteja toteutettaessa on mukana ollut tapauskohtaisesti henkilöitä eri osa-alueilta, mutta projekti-kohtaisesti osallistujat ovat vaihdelleet hyvinkin paljon. Uuden tuotteen suunnitte- lun käynnistäminen on toteutettu ”ideariihessä” ja mukana olijat ovat esittäneet näke- myksiään jossain määrin vapaamuotoisesti. Roolien epäselvyys johtaa helposti siihen, että asioita tehdään turhaan useamman henkilön toimesta tai toisaalta asioita jää teke- mättä kun selkeää projektiorganisaatioita ei ole määritetty.

Yrityksen johto

Suunnitteluosasto toimii määritettyjen aikataulujen puitteissa, jotka tulevat ylemmältä taholta johdon toimesta. Johdon tehtävä on varmistaa, että suunnitteluosaston toiminnal- le on täysi tuki ja tarvittavat resurssit. Kokonaisuuden kannalta on tärkeää, että projek- tiin valitaan oikeat henkilöt oikeisiin tehtäviin ja tässä projektin avainhenkilöiden valin- nassa johdolla on tärkeä rooli. Projektin aikainen seuranta on myös johdon kannalta tärkeä asia, mikä saattaa ajoittain unohtua. Palautteen saaminen tehdyistä ratkaisuksista ja valinnoista on ensiarvoisen tärkeää, jotta voidaan seurata projektin etenemistä.

Projektinvetäjät

Hyvin organisoidussa tuotekehitysprojektissa vastuut on määritetty selkeästi ja kaikilla osallistujilla on tarkasti tiedossa kuka vastaa mistäkin osa-alueesta. Projektin vetäjän tehtävänä on varmistaa, että kaikki toiminnot tehdään oikea-aikaisesti ja vältetään turhaa detaljitason suunnittelua väärässä vaiheessa projektia. Kommunikointi yrityksen johdon kanssa kriittisistä konseptikysymyksistä ja tiedon välittäminen eri suunnitteluryhmille on oleellinen osa projektinvetäjän roolia. Projektinvetäjän roolina on toimia ohjaajana, joka johtaa sidosryhmien välistä vuorovaikutusta ja eri konseptiehdotusten analysointia.

Suunnitteluosasto

Suunnitteluosaston rooli uuden konseptin kehittälyssä on merkittävä ja tämä on ollut käytäntö myös Moventaksen kohdalla. Uuden vaihdekonseptin kehittäminen aloitetaan yleensä pohjautuen johonkin vanhaan konstruktion, jota aletaan muokkaamaan uusien vaatimusten mukaiseksi. Tässä osaltaan toteutuu DFMA-lähtöinen ajattelumetodi siinä mielessä, että pyörää ei keksitä uudelleen. Toisaalta uuden konseptin kehittämiseen saattaa vaikuttaa varsin paljon suunnittelijan oma näkemys perustuen aiempiin tuote-konsepteihin ja kulloisenkin suunnittelijan omaan työskentelytapaan ja kokemuksen kautta tullessiin rutiineihin. Uusien aiemmasta poikkeavien ratkaisujen hahmottaminen saattaa jäädä rutiininomaisen työskentelyn varjoon. Aiemmin hyväksi havaittuja ratkaisuja ei välttämättä uskalleta asettaa kyseenalaiseksi vaan asiat tehdään niin kuin on aina tehty.

Kokoonpano-osasto

Kokoonpantavuuden huomioiminen jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa on tämän tutkimuksen keskeisin osa-alue. Suunnitteluprosessi on määritelty yrityksen toimintasuunnitelmassa kuuteen eri portaaseen, joiden sisällöt on esitetty aiemmin kappaleessa 6. Kokoonpano-osaston rooli tulee olla selkeästi määritettynä tuotekehitysprojektin organisaatiossa, jotta sen huomioimiseen tulee nimettyä tarpeellinen ja kattava edustus tuomaan kokoonpanon näkökulman heti suunnittelun alkuvaiheeseen ennen konseptin etenemistä liian pitkälle. Tällä edesautetaan sitä, että huomioitavat asiat saadaan suunnitteluosaston tietoon riittävän aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Käytännössä projektiin tulee nimetä mahdollisimman kokenut kokoonpanija, jolla on mahdollisimman laaja-alainen näkemys kokoonpanon eri vaiheista. Mahdollisuuksien mukaan osallistujia on hyvä olla mukana useampia.

6.2.1 Yhteenveto projektin organisoinnista

Uuden projektin aloittaminen tulisi aikatauluttaa selkeästi ja projektin aloituspiste määritellä yksiselitteisesti. Aloituspalaverissa projektin aikataulusuunnitelma käydään läpi ja esitellään projektin organisaatio kaikille projektiin osallistuville. Alusta alkaen projektinvetäjän rooli on tärkeässä asemassa kokonaisuuden pitämisessä kasassa ja välitavoitteiden saavuttamisessa sekä asioista tiedottamisessa kaikkien sidosryhmien kesken. Kokoonpanon näkökulma tulisi saada mukaan alusta alkaen ja käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että arviointipalaveriisiin osallistuu kokoonpanon työntekijä. Tarvittaessa konstruktion eri osa-alueiden arviointiin tulisi nimetä useampia henkilöitä sen mukaan, kellä on paras kokemus käsiteltävästä alueesta.

6.3 Tuulivaihteen voiteluputkitus

Seuraavassa on käsitelty tuulivaihteen voiteluputkituksen toteuttamista soveltaen DFMA-periaatetta ja esitetty huomioitavia asioita ja periaatteita. Aputyökaluna on käytetty putkituksen osalta laadittua muistilistaa, jota täyttämällä kohde on käyty läpi. Analysoinnin tekeminen on toteutettu yhteistyössä suunnittelun ja kokoonpanon kesken.

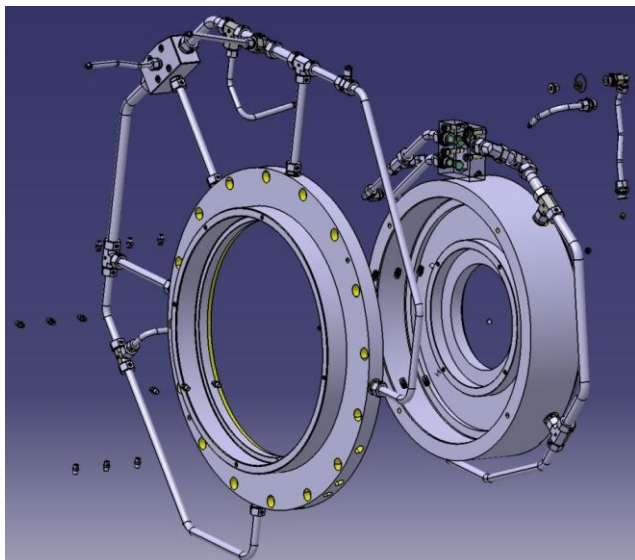
6.3.1 PPLH-2900.1 voiteluputkituksen muutos

PPLH-2900.1 tuulivaihteelle on toteutettu voiteluputkituksen muutos siirryttäessä PPLH-2900.1 tyyppistä PPLH-2900.2 versioon. Putkistomuutoksien avulla rakenteesta on saatu yksinkertaisempi ja tarvittavien osien määrää on saatu pienennettyä, mikä osaltaan nopeuttaa kokoonpanovaihetta. Voiteluputkitus sisältää komponentit, joiden avulla voiteluöljy johdetaan vaihteen sisällä eri kohteisiin. Käytännössä putkitus koostuu vaihteen kotelon mukaisesti muotoilluista putkista ja tarvittavista liittimistä joiden avulla erilliset putket kokoonpannaan yhdeksi kokonaisuudeksi ja toisaalta itse putkisto liitetään vaihteen sisällä oleviin komponentteihin. Voiteluöljy voidaan tuoda voideltavaan kohteeseen erilaisilla suuttimilla, jolloin voiteluaine ruiskutetaan kohteeseen tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi laakerien voitelussa öljy johdetaan erillisiin öljykanaviin, joiden avulla voiteluöljy johdetaan laakereille. Itse putkitus koostuu useasta eri putkesta, jotka liitetään toisiinsa putkiliittimien avulla. Putkiliittimien käyttäminen vähentää itse putkien muotoilutarvetta ennen asennusvaihetta, mutta toisaalta liittimien käyttäminen lisää kokonaisuuden osamäärää ja täten kokoonpanovaiheessa tehtävää työmäärää. Huomioitaessa mahdollinen osien vaihtaminen jatkossa huoltojen yhteydessä taas puoltaa erillisten osien käyttöä rakenteessa.

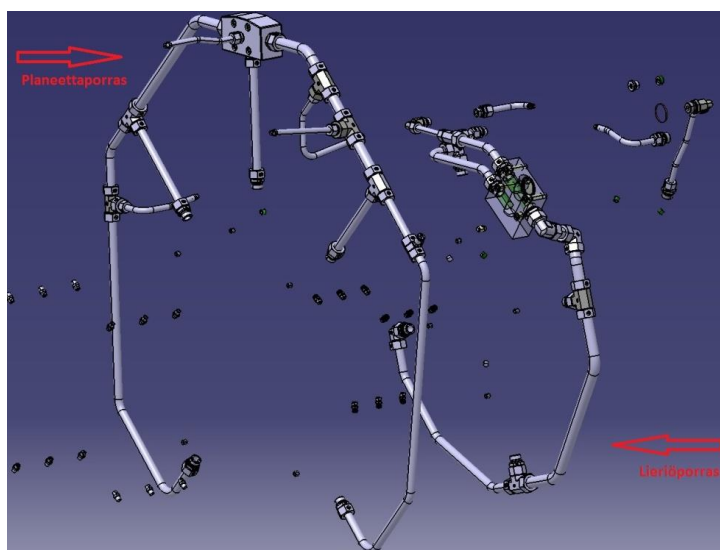
Ohessa on tarkasteltu tehdyn muutoksen toteuttamista ja muutoksella saavutettua uutta konstruktiota. Kokoonpanon tarkastelun yhteydessä huomioidaan sekä tuotannon aikana tehtävä kokoonpanotyö, että myöhemmin tehtävät huoltotyöt sekä konstruktion turvallisuusnäkökohdat. Analysoitaessa putkitusta verrattiin kohteena olevaa konstruktiota muihin yrityksen tuotteisiin ja mahdollisuuksien mukaan myös kilpailijoiden ratkaisuihin. Tärkeää on, että iterointia toteutetaan mahdollisimman laajasti ja pyritään löytämään mahdollisimman paljon ratkaisuvaihtoehtoja, joiden kesken lopullinen valinta tehdään. Tärkeässä roolissa tässä vaiheessa on asiantunteva tiimi, joka tuntee tarkasteltavan kohteen ja sen tekniset yksityiskohdat kokoonpanomielessä

PPLH-2900.1 voiteluputkitus

Voiteluputkitus on toteutettu PPLH-2900.1 versiossa ohessa esitetyllä tavalla. Kuvista 6.1. ja 6.2. käy ilmi putkituksen toteutus ennen tehtyä muutosta. Kuvassa 6.1. havainnollistetaan voiteluputkituksen sijainti vaihteen sisällä. Kuvan etualalla näkyy planeetataportaan putkitus ja takimmainen putkitus voitelee lieriöportaan. Kuva 6.2. yksilöi tarkemmin vain putkituksen



Kuva 6.1. Vaihteen sisäinen voiteluputkitus.



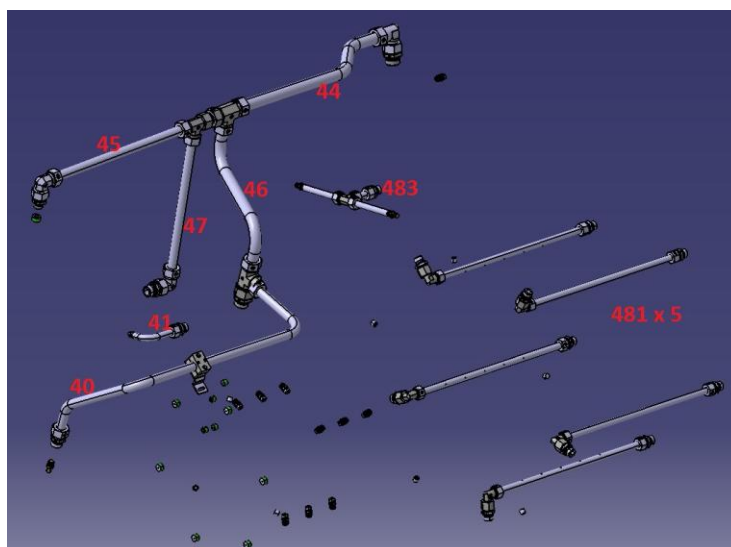
Kuva 6.2. Voiteluputkitus.

Ennen tehtyä konstruktiomuutosta sisäinen voiteluputkitus koostui 26 erillisestä putkiosasta. Planeetaportaan voiteluputkiston muodosti 15 erillistä putkea ja lieriöportaan voitelu koostui 11 erillisestä putkesta. Putkisto koostuu eri kokoisista putkista ja siten myös liittimien määrä ja mallit vaihtelevat eri vaihteiden kokoluokkien mukaisesti, mutta myös kokoluokkien sisällä on vanhoissa vaihteissa vaihtelua. Hammaspyörille suihkutettava voiteluöljy edellyttää suittimien käyttämistä, joiden avulla voiteluöljy saadaan kohdistettua viuhkamaisena suihkuna kohteeseensa. Käytössä ovat standardi Veejet-suittimet. Putkisto asennetaan vaihteen sisälle käyttämällä putkikannattimia, joiden koko vaihtelee kulloisenkin putkikoon mukaisesti. Lisäksi putkituksen malli vaikuttaa siihen, mistä kohdista itse putkitus kannakoidaan vaihteiston kotelon seinämiin. Monimutkaiset putkistorakenteet edellyttävät kannakointien määrän lisäämistä, jotta kokonaisuus saadaan tukevasti paikoilleen.

Voiteluputkistot kokoonpannaan valmiiksi muotoilluista putkista, jotka hankitaan toimittajalta valmiina. Putket toimitetaan puhdistettuina ja ne on suojattu päätytulilla, joiden tarkoituksena on estää ulkopuolisen lian pääsy putkien sisälle. Putkien sillä oleva mahdollinen lika aiheuttaa ongelmia vaihteen koeajovaiheessa lian huuhtoutuessa öljyn mukana voitelukiertoon. Tästä johtuen kokoonpano tulisi pyrkiä toteuttamaan mahdollisimman puhtaissa olosuhteissa.

PPLH-2900.2 uusi putkistorakenne

Uudessa voiteluputkituksessa erillisten putkiosien määrää on saatu laskettua huomattavasti verrattuna edelliseen konstruktion. Aiemmin käytetystä 25 eri putkesta koostunut rakenne on muuttunut siten, että uudessa ratkaisussa erillisiä putkiosia on 15 kappaletta. Kokonaisuus sisältää edelleen useampaa eri putkikokoa, mutta osien määrän vähentyminen on huomattava. Rakenteen yksinkertaistuminen myös pienentää tarvittavien kannakointien määrää. Uusi voiteluputkitus on esitetty kuvassa 6.3. Uudessa konstruktiossa putkitus sisältää myös huomattavasti vähemmän putkien muotoilutarvetta ja täten putkituksen asennusvaiheessa mahdollisen sovitustyön määrä on saatu minimoitua.



Kuva 6.3. PPLH-2900.2 voiteluputkisto.

Uuden rakenteen tarkastelussa hyödynnettiin kohteesta laadittua tarkastuslistaa, jonka avulla rakenne analysoitiin. Analyysi suoritettiin suunnittelun ja kokoonpanon yhteistyönä. Tehdyt havainnot on listattu taulukkoon 6.1.

Taulukko 6.1. Lieriön putkituksen tarkastuslista kokoonpano huomioiden.

VOITELUPUTKITUKSEN KOKOONPANO			
KOKOONPANO	KYLLÄ	EI	HUOMIOT
Kokoonpanon edellytykset tarkastettu koko lieriön putkituksen osalta	x		Alustava putkitus ajatus käytiin läpi asentajan kanssa
Putkituksen reititys on dokumentoitu	X		Putkituksesta löytyy asennuskuvat ja voitelukaavio
Erikoisasennusohjeiden tarve on huomioitu		x	Ei ilmennyt tarvetta erikoisasennusohjeelle
Putkien materiaali, tyyppi, joustavuus, tilavaatimukset, taivutussäde huomioitu	x		
Putkituksen kiinnityspisteet määritetty	x		
Tarpeellinen/riittävä määrä kannakointeja määritetty	x		Liitin valmistajan suosittelemat kannakointi etäisyydet huomioitu
Liitoskomponentit määritetty	x		
Läpivientien terävät reunat on huomioitu ja tarvittavat viisteet määritetty	x		
Kokoonpanosuunnat huomioitu ja määritetty	x		Putkien asennot / suunnat näkyvät kokoonpanokuvista.
Liittimien kiristäminen huomioitu (avaimen vaatima tila)	x		
HUOLLETTAVUUSNÄKÖKOHDAT			
Putkituksen huollettavuus rakenteellisesti huomioitu ja varmistettu	X		
Erikoistyökalujen tarve minimoitu/poistettu	X		
TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT			
Putkitus on suojattu ulkoisia voimia vastaan (iskut, hankauskuluminen, päälle astuminen)		X	Päällä olevat putket ovat kriittisimpiä ulkoisille voimille. Kannakointi harkinnassa vaihteen päällä oleville putkille.
Öljyputkitukset merkitty selkeästi (huomioitu muut kaapeloinnit esim. sähköt)	x		Kaapelit väistää voiteluputkia.
Putkituksen tarvittavat eristykset vedeltä ja kosteudelta huomioitu	x		Ei merkitystä
Lämmöneristys on huomioitu (laitteesta tuleva lämpö, ulkotilan olosuhteet)	x		Ei tarvetta.

Uuden konstruktion kokoonpanoon kuluva asennusaika on pienentynyt osien määrän vähenemisen myötä. Aiemman konstruktion vaatima kokoonpanoaika oli noin 4 tuntia pidempi kuin uudessa rakenteessa. Uudessa rakenteessa myös liitinpaketti sekä vaihteen sisäiset öljyrenkaat on jätetty pois.

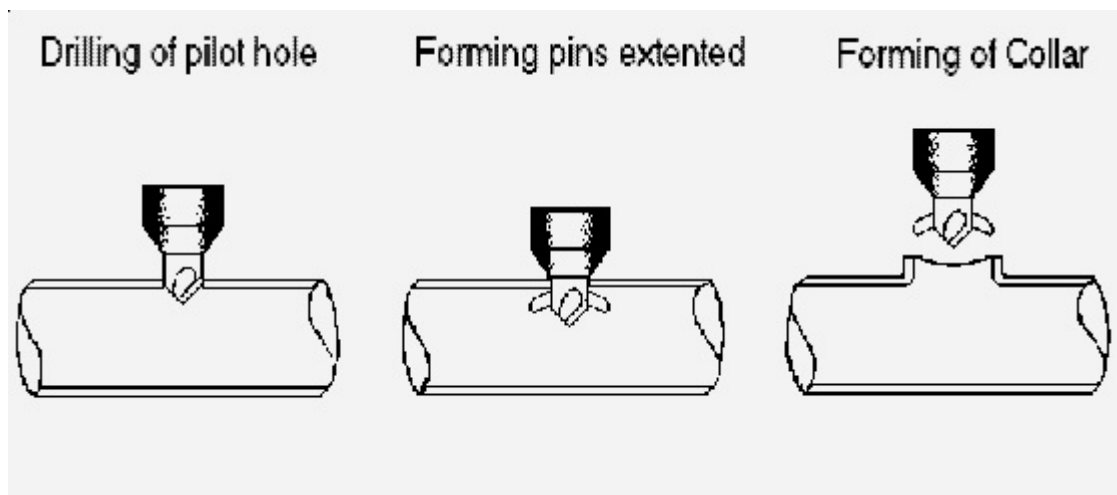
Vähentynyt osamäärä pienentää varastointitarvetta kokoonpanopisteessä ja toisaalta vähentää asennusvaiheessa mahdollisen inhimillisen virheen mahdollisuutta. Uudessa konstruktiossa putkituksen kannakointitarve kotelon runkoon on myös pienempi, mikä osaltaan vähentää osien määrää kannakoinnissa. Vähentynyt erillisten putkien määrä pienentää tarvittavien liittimien määrää ja näin ollen myös esimerkiksi riski liittosten löytymisestä värähtelyn vaikutuksesta on pienempi.

Kaiken kaikkiaan putkituksen osamäärä on uudessa konstruktiossa noin puolet pienempi, mikä on varsin suuri muutos edeltäneeseen malliin. Tässä tutkimuksessa painotettuun osamäärän vähentämiseen ja rakenteen yksinkertaistamiseen viitaten, voidaan uutta konstruktiota edelleen tarkastella tutkimuksessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti:

Liittimet

Uudessa rakenteessa putkisto koostuu edelleen useammasta eri osasta. Aikaisempaan konstruktion verrattuna rakenne on kuitenkin huomattavasti yksinkertaistunut ja esimerkiksi putkien muotoilua on huomattavasti vähemmän. Jäljelle jääneet liitokset toteutetaan kuitenkin edelleen liittimillä. Onko mahdollista toteuttaa tarvittavat liitokset siten, että erillisten osien määrä saataisiin pienennettyä edelleen? Putkien liittämiseen on liittimien lisäksi muitakin vaihtoehtoja kuten hitsaus. Kyseessä olevassa kohteessa hitsauksen käyttäminen tarkoittaisi käytännössä tig-hitsausta, joka ei kustannusmielessä todennäköisesti olisi järkevää. Vaihtoehtoisesti liitokset olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi T-DRILL menetelmällä, jolloin useammasta eri osasta koostuva putki voitaisiin hankkia alihankintana yhtenä kappaleena tai valmistaa itse ennen kokoonpanoa.

T-DRILL menetelmän avulla putkisto kokoonpannaan erikoistyökalulla tehtäviä liitoksia käyttäen. Menetelmän perusperiaate on esitetty kuvassa 6.4.



Kuva 6.4. T-DRILL liitosmenetelmä.

Menetelmä on kehitetty jo 1970-luvulla erilaisten putkistojen valmistamiseen ilman erillisiä liitinkappaleita. T-DRILL liitos muodostetaan tekemällä toiseen yhdistettävistä putkista kauluksellinen reikä, johon liitettävä putki yhdistetään esimerkiksi juotoksella. Menetelmä tarjoaa monia etuja verrattuna erillisillä liitoskomponenteilla toteutettuun liitokseen:

- liitokseen ei tarvita erillisiä osia
- laitteistoinvestoinnit eivät merkittävän suuria
- liitoksessa (T-liitos) vain yksi sauma kolmen sijasta
- liitoksen kestävyys
- liitos ei vaikuta virtausominaisuuksiin

T-DRILL (http://www.t-drill.fi/tmp_t-drill_site_10.asp?sua=1&lang=1&s=57)

Suuttimet

Onko käytettävien suuttimien variaatioiden määrää edelleen mahdollista pienentää? Osittain suuttimien valintaa ohjaa myös hinta ja saatavuus, mikä sinänsä vaikuttaa asiaan.

Putkien kannakointi

Analyysin yhteydessä huomioitiin vaihteen päällä olevien putkien alttius ulkoisille voimille. Onko mahdollista vahvistaa kiinnitystä lisäämällä kannakointia vai olisiko tarvetta erillisille suojille?

6.4 DFMA-menetelmän huomioiminen NPI-prosessissa

Kappaleessa 5.3 esitetyn NPI-prosessin mukaisesti kokoonpanon kannalta oleelliset seikat tulisi huomioida ensimmäisten neljän gate-vaiheen aikana siten, että varsinkin *Gate 1 vaiheen aikana kokoonpanon näkökulma tulisi mahdollisimman kattavasti huomioitua*. Kokoonpanon ja suunnittelun yhteistyöllä on täten suurin merkitys NPI-prosessin alkuvaiheessa. Vaiheissa 2-4 esitetyt kokoonpanon osa-alueet tulisi mahdollisuuksien mukaan käsitellä jo aiemmissa gate-vaiheissa, mikäli se on mahdollista. Suunnittelun eteneminen vaiheittain kuitenkin asettaa rajoituksia, koska kokoonpanon työvaiheiden analysointi edellyttää olemassa olevia rakennemalleja, joiden perusteella käytännön työvaiheita voidaan arvioida. Eri vaiheisiin sisältyvät toimenpiteet on listattu kappaleessa 5.3.1.

Tässä kappaleessa on koottu neljän ensimmäisen Gaten sisältämät kokoonpanoa koskevat asiat taulukoihin ja määritelty eri vaiheiden vastuulliset osastot, joiden vastuulla kyseisten toimenpiteiden suorittaminen on. Ohessa esitettyihin taulukoihin on koottu vain kokoonpanoa koskevat asiat ja pyritty saamaan taulukoista tarkastuslistanomainen työkalu suunnittelun ja kokoonpanon käyttöön. Kuten jo aiemmin tässä tutkimuksessa on todettu, tulisi suunnitteluprosessissa korostaa NPI-prosessin alkupään merkitystä myös kokoonpanon kannalta. Kokoonpanon asettamien vaatimusten määrittely edellyttää kuitenkin sitä, että on olemassa kohde, jota tarkastellaan. Toisin sanoen kokoonpanoa ei voida analysoida ilman, että suunnittelun taholta on olemassa jo jonkinlainen alustava konstruktiosuunnitelma, jonka perusteella voidaan arvioida kohteen kokoonpanoa.

Gate 1

NPI-prosessi / Kokoonpano / Gate 1				
Layout suunnittelu				
			Tila	
Tehtävä	Toimenpiteet	Vastuu	Tehty	EI
Layout piirustus	Vertaaminen olemassa oleviin	Suunnittelu / kokoonpano		
Kokoonpanoprosessin arviointi	Kohde jaettu selkeisiin kokonaisuuksiin ja tarkistuslista tehty (esimerkkinä kotelon putkitus: taulukko 6.1)	Suunnittelu / kokoonpano		
	Tavoitteiden asettaminen kokoonpanon kannalta: benchmarking (omat/kilpailijoiden tuotteet)	Suunnittelu/ kokoonpano		
	Kokoonpanotapa määritelty: automaattinen vai manuaalinen kokoonpano	Suunnittelu / kokoonpano		
	Kokoonpanokaavion laatiminen	Suunnittelu/ Kokoonpano		
	Kokoonpanon ongelmakohdat määritetty	Kokoonpano		
	Muut ongelmakohdat tuotteen valmistuksessa arvioitu	Suunnittelu / kokoonpano		

Gate 1 vaiheessa uuden tuotteen suunnittelu on vielä alussa ja täten muutoksien tekeminen on tässä vaiheessa helpompaa. Layout piirustuksen pohjalta voidaan konstruktioita käydä läpi kohta kohdalta ja verrata suunnitelmaa jo olemassa oleviin ratkaisuihin. Oleellista tässä vaiheessa olisi pyrkiä kartoittamaan turhat variaatiot esimerkiksi liitoksiin liittyvien komponenttien (pulttikoot, sokat), putkikokojen tai voitelusuuttimien suhteen. Konstruktion jakaminen riittävän pieniin ja selkeisiin kokonaisuuksiin helpottaa läpikäyntiä ja toisaalta tehty tarkastelu tulee samalla dokumentoitua. Esimerkkinä tästä kohteen määrittelystä on tässä tutkimuksessa aiemmin laadittu voiteluputkituksen tarkastuslista (taulukko 6.1) kappaleessa 6.3.

Gate 1 vaiheessa pääpaino kokoonpanon kannalta on konstruktion teknisen suunnitelman kriittinen arviointi, joka tulee suorittaa yhdessä kokoonpanon edustuksen kanssa. Gate 1 vaihe tarjoaa parhaat mahdollisuudet muutoksien tekemiselle, mutta toisaalta konstruktio on ensimmäisessä vaiheessa vielä niin keskeneräinen, että haasteeksi muodostuu konstruktion keskeneräisyys ja siitä seuraavat ongelmat eri osatekijöiden käsittelyssä.

Gate 2

NPI-prosessi/ Kokoonpano / Gate 2				
Hammastettujen osien suunnittelu				
			Tila	
Tehtävä	Toimenpiteet	Vastuu	Tehty	EI
Kokoonpanoaikataulu	Aikataulu määritetty	Suunnittelu / Kokoonpano		
Valmistuksen kehitystarpeiden analysointi	Kokoonpanon erikoistyökalut huomioitu	Kokoonpano		
Tilojen saatavuus (tuotantotilat)	Kokoonpanopisteiden määrittäminen	Kokoonpano		
Kokoonpanolaitteiden määrittely	Tarvittavat laitteet huomioitu ⇒ kapasiteetti	Kokoonpano		
Komponenttien käsittelyanalyysi	Varastointi, logistiikka, nostot, puhdistus, raportointi, reklamaatiot	Suunnittelu / Kokoonpano		

Gate 2 sisältää hammastettujen osien suunnittelun. Kokoonpanon kannalta huomioitavia seikkoja on tarvittavien resurssien arviointi niin henkilökunnan kuin laitteiden kannalta.

Gate 3

NPI-prosessi/ Kokoonpano / Gate 3				
Kotelon suunnittelu				
			Tila	
Tehtävä	Toimenpiteet	Vastuu	Tehty	EI
Kotelopiirrustukset	Vertailu olemassa oleviin tehty	Suunnittelu		
Huollettavuus ja kokoonpanon arviointi	Kokoonpanon läpikäynti yhdessä kokoonpanijan kanssa	Suunnittelu / kokoonpano		
Kokoonpano aika- taulu	Aikataulun määrittäminen	Kokoonpano		
Kokoonpanoprosessi päivitetty	Huomioitu aiemmat vaiheet ⇒ päivitys tarvittaessa	Suunnittelu / kokoonpano		
Kotelon käsittely analyysi	Varastointi, logistiikka, nostot, puhdistus, raportointi, reklamaatiot	Kokoonpano		
Tarkistusluokkun sijoituksen analysointi	Kokoonpano, huoltotilanteet	Kokoonpano/ suunnittelu/ Service		

Gate 3 vaiheessa tarkastelun kohteena on vaihteen kotelo. Kotelon suunnittelu edellyttää hammadettujen osien olevan määriteltyjä, joten edelliseen gate 2 vaiheeseen sisältyvät kokoonpanon osa-alueet tulee olla läpikäyty ennen gate 3 vaiheen aloittamista.

Gate 4

NPI-prosessi/ Kokoonpano / Gate 4				
Tekninen dokumentaatio				
			Tila	
Tehtävä	Toimenpiteet	Vastuu	Tehty	EI
Kokoonpanopiirrustukset	Läpikäynti yhdessä kokoonpanon kanssa ⇒ päivitykset tarvittaessa	Suunnittelu / kokoonpano		
Tekninen osaluettelo	Osaluettelo tehty	Suunnittelu		
Cmas osaluettelo	Osaluettelo tehty	Suunnittelu		
Koeajon suunnitelma	Koeajon suunnitelma tehtynä	kokoonpano/koeajo		
Komponentti- ja kokoonpanopiirrustusten arviointi	Läpikäynti yhdessä kokoonpanon kanssa ⇒ päivitykset tarvittaessa	Suunnittelu / kokoonpano		
Kokoonpanoajakaulu	Kokoonpanon työnjohdon määrittelemä aikataulu	Kokoonpano		
Kokoonpanoprosessi määritelty	Kokoonpanovaiheiden läpikäynti	Kokoonpano		
Kokoonpanon komponenttiraportti tehty	Vertaaminen olemassa oleviin ⇒ Päivitys tarvittaessa	Kokoonpano / suunnittelu / tarkastaja		
Purkamistyökalut	Kokoonpanoanalyysi	Kokoonpano / Service		

Gate 4 vaiheessa konstruktio on jo pitkälti määritelty. Tässä vaiheessa havaittujen muutostarpeiden saattaminen konstruktioon on jo huomattavasti hankalampaa kuin edeltävien vaiheiden aikana. Neljännessä gate-vaiheessa kokoonpanon kannalta oleellista on tarkastaa olemassa olevien teknisten dokumenttien (piirustukset, osaluettelot) soveltuvuus kokoonpanoa ajatellen. Tämä tarkastus tulee suorittaa kokoonpanon toimesta ja havaitut puutteet raportoidaan suunnittelulle. Koeajo suoritetaan tuotteen valmistusprosessissa heti pääkokoonpanon jälkeen ja toisaalta ennen vaihteen lopullista varustelua, joten koeajo tulee huomioida osana kokoonpanoprosessia.

7 KEHITYSEHDOTUKSIA

DFMA-metodin soveltaminen käytäntöön vaatii paljon muutakin kuin vain kohteena olevan konstruktion teknisen tarkastelun ja sen toteuttamisen mahdollisimman tehokkaasti ja sujuvasti erilaisia apuvälineitä käyttäen. Jotta asiasta saataisiin mahdollisimman paljon irti, on tärkeää, että kaikki projektiin osallistuvat ymmärtävät mistä on kyse ja mitä menetelmällä on mahdollista saavuttaa. Tämän tiedon saaminen yrityksen toiminnan sisään vaatii työtä ja käytännössä tämä tarkoittaa koulutuksen järjestämistä. Kehitettäessä suunnitteluprosessia jatkossa tulisi huomioida seuraavia asioita:

- Vastuuhenkilöiden nimeäminen suunnitteluprosessiin kokoonpano-osaltolta
- Edellä kappaleessa 6.4 esitettyjen gate 1-4 tarkastuslistojen ottaminen osaksi NPI-prosessia ja tehtyjen analyysien dokumentointi suunnitteluprosessin edetessä
- Aikataulullisen takarajan määrittäminen kokoonpanoanalyysille
- Tehtyjen muutoksien dokumentointi ja tarkastuslistojen päivittäminen tarvittaessa.

Apuna määritellyn kohteen analysoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi kappaleessa 6.3 esitettyä tarkastuslistaa, joka laaditaan kulloiseenkin kohteeseen soveltuvaksi. Vaihteen jakaminen eri kohteisiin kokoonpanon kannalta Lay-out-vaiheessa (Gate1) tulisi suorittaa selkeinä kokonaisuuksina esimerkiksi seuraavasti:

- Voimansiirtoakselit ja laakeroinnit
- Etuosa
- Lieriöosa
- Voiteluputkitus (esimerkki kappaleessa 6.3)
- Osakokoonpanojen yhdistäminen => pääkokoonpano
- Koeajon vaatimukset
- Maalaus
- Loppuvarustelu => sähkötyöt, vaihteen merkinnät, suojaukset,
- Pakkaus ja lähetys

Analysointivaiheessa suositellaan käytettäväksi apuna esimerkiksi aiemmin tässä diplomityössä esitettyjä Boothroydin esittämiä määrittelyjä osien välttämättömyydelle. Kyseiset määrittelyt on esitelty aiemmin tässä diplomityössä kappaleessa 3. Rakenteen yksinkertaistamisessa osien lukumäärän vähentäminen on avainasemassa ja tässä tulisi huomioida seuraavia seikkoja:

- Voiteluputkiston putkikokojen yhtenäistäminen
- Liitosruuvien kokojen yhtenäistäminen
- Sokkakokojen ja –tyyppien yhtenäistäminen
- Voiteluputkiston liittimien vähentäminen => hitsaus / T-Drill
- Toleranssivaatimusten tarkastaminen => vaihdekohtaisen shim-milevyjen tarpeen pienentäminen.

Huolimatta analysoinnista tuotteen suunnittelun alkuvaiheessa, on käytäntö kuitenkin osoittanut, että tuotteen valmistusvaiheessa havaitaan usein puutteita ja parannuskohteita, jotka kuitenkin edellä mainittujen seikkojen vuoksi osoittautuvat hankaliksi muuttaa enää kokoonpanovaiheessa. Monesti nämä epäkohdat jäävät vain kokoonpanoon osallistuvien tietoon ja suunnitteluvaiheessa toteutettavat parannukset jäävät siten tekemättä. Tiedon välittämiseen suunnittelulle myös tuotteen valmistuksen loppuvaiheessa tulee luoda toimiva kanava, jotta muutokset voidaan huomioida mahdollisesti seuraavien konstruktiopäivitysten kohdalla. Yrityksessä on tällä hetkellä käytössä jatkuvan parannuksen toimintaperiaate, jonka avulla kenellä tahansa yrityksessä työskentelevällä on mahdollisuus viestittää havaituista puutteista tai kehitysehdotuksista eteenpäin. Epäkohtien raportoinnin toimivuuteen ja kehitysehdotusten aiheuttamiin toimenpiteisiin tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota ja palautteen saaminen kokoonpanoon nostaa esille. Tieto kehitysehdotusten perusteella tehdyistä toimenpiteistä ja muutoksista jää usein epäselväksi ja siksi havaituista epäkohdista raportointi saatetaan kokea hieman tehottomana. Palautteen saamisen puuttuminen saattaa aiheuttaa lopulta sen, ettei epäkohdista enää koeta tarpeelliseksi tiedottaa, jolloin samat ongelmat toistuvat uudestaan. Tästä johtuen tulisi pyrkiä viemään tietoa myös suunnittelusta kokoonpanoon.

Aiemmin tässä tutkimuksessa esitetty teesit C_DFMA:n pohjaksi myös antavat näkökulmaa tuotesuunnittelun lähtökohtiin, mitkä osaltaan vaikuttavat tehtäviin päätöksiin eri ratkaisumallien kesken. Tuotesuunnittelun kohdistaminen koskemaan tuotearkitehtuuria yksittäisten tuotteiden sijaan antaa kokonaisuuden kannalta suurempia etuja eri variaatioiden määrän vähentymisenä. Tästä seuraa joissain tapauksissa väistämättä se, että käytetty ratkaisu ei sovellu kaikkiin tapauksiin yhtä hyvin. Tämän tiedostaminen kokoonpanossa auttaa puolestaan ymmärtämään tehtyä ratkaisua vaikka olemassa olisi myös juuri kyseiseen kohteeseen paremmin soveltuva rakenne.

Jatkossa toiminnan kehitystä tulisi viedä eteenpäin lisäämällä eri osa-alueiden keskinäistä yhteistoimintaa. Toiminnassa tulee tehdä selkeitä askelia siten, että tehdyt muutokset ovat riittävän pieniä ja muutokset määritellään selkeästi toimintaohjeisiin. Eri asiantuntijoiden nimeäminen konkreettisesti helpottaa analyysin toteuttamista ja toisaal-

ta tällöin vastuuta on selkeästi jaettu kohdistetusti eikä asia jää epämääräisesti ilmaan leijumaan ilman, että kukaan selkeästi ottaa sen hoitaakseen. Käytännön dokumentointi tulisi varmistaa jotta tehdyt toimenpiteet ovat jatkossakin osoitettavissa.

8 YHTEENVETO

Kartoitettaessa yrityksen tämänhetkistä toimintaa suunnittelun ja kokoonpanon yhteistoiminnan näkökulmasta, havaittiin toiminnassa tarvetta menetelmien kehittämiseksi.

Diplomityön tekemisen aikana kartoitettiin yrityksen suunnittelukäytäntöjä ja toiminnan sujuvuutta tuotteen elinkaaren alkuvaiheessa. Tässä tutkimuksessa esitetyt metodeja ja menetelmiä on sinänsä hyödynnetty vuosien saatossa, eikä tässä tutkimuksessa esille nousseet seikat ole vieraita yrityksen tähänastisessa toiminnassa.

Toiminnan kehittäminen tässä tutkimuksessa esitettyjen näkökulmien pohjalta vaatii yritykseltä selkeitä päätöksiä sitoutua menetelmien ja toimintatapojen päivittämiseen. Vaikka esitetty malli ei sinänsä ole täysin vieras yrityksen toiminnassa, on käytännön toteuttaminen esitetyllä tavalla varmasti jossain määrin tähänastisesta toimintata- vasta poikkeava.

Viime vuosien aikana yrityksessä on tapahtunut suuria muutoksia, joiden vaikutus on ollut havaittavissa myös tuotteiden suunnittelun toteutuksessa. Organisaation muutoksien vaikutus päivittäiseen toimintaan eri osastoilla on asia, jonka arviointi on varsin hankalaa, mutta oletettavasti vaikutusta on jonkin verran ollut. Suurien muutosten jälkeen kestää aikansa ennen kuin toiminta vakiintuu ja särmät hioutuvat päivittäisessä toiminnassa. Muutoksien yhteydessä olisikin tärkeää pyrkiä vakiinnuttamaan toiminta mahdollisimman pian, jotta siirtymävaiheeseen liittyvät ongelmat jäisivät mahdollisimman pieniksi ja niiden kustannusvaikutus yrityksen toimintaan olisi vähäinen. Olettaessa käyttöön uusia menetelmiä ja toimintatapoja tulee kiinnittää erityistä huomioita uuden menetelmän sisäanjoon yrityksen toimintakulttuuriin. Lisäksi tulisi pyrkiä jakamaan kokonaisuus mahdollisuuksien mukaan riittävän pieniksi osatavoitteiksi, jotta vältetään kerralla liian suurelta muutokselta ja sen mahdollisesti aikaansaamalta vastustukselta. Toisaalta pienin askelin edetessä, mahdollisen epäonnistumisen vaikutukset jäävät myös pienemmiksi.

Tässä tutkimuksessa esitetty teoria osoittaa, että tuotteen lopullisissa kustannuksissa suurta roolia näyttelevät jo suunnittelun alkuvaiheessa tehdyt ratkaisut ja päätökset. Johtoajatuksena esitetyssä ajatusmallissa on pyrkiä vähentämään osien lukumäärää mahdollisimman paljon, jolloin kokoonpantavaa olisi myös mahdollisimman vähän. Tämä ajatus on varsin helppo hyväksyä, mutta haasteeksi muodostuu löytää oikea tasapaino osien minimoimisen suhteen. Asia ei ole missään mielessä mustavalkoinen ja monessa tapauksessa monimutkaisempi kokoonpanon rakenne on perusteltu.

Tutkimuksen aikana muodostui käsitys DFMA-menetelmän sisällöstä ja sen tarjoamista mahdollisuuksista tuotekehityksessä. DFMA on käytännön kannalta varsin moniulotteinen käsite ja sen soveltaminen eri yritysten ja toimintaympäristöjen tarpei-

siin riippuu paljolti kulloisenkin yrityksen toimintatavoista ja resursseista. Yhtä oikeaa tapaa toteuttaa menetelmän hyödyntäminen ei ole vaan käyttö perustuu menetelmän soveltamiseen parhaalla mahdollisella tavalla huomioiden käytettävissä olevat resurssit ja toiminnalle asetetut tavoitteet.

LÄHTEET

Andreasen, M. Myrup, Kähler, S., Lund, T., 1988. Desing for Assembly, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 212p.

Blecker, T & Abdelkafi, N. 2006. Complexity And Variety In Mass Customization Systems: Analysis And Recommendations. Management Decision. Vol 44(7), s. 908-929. ISSN: 0025-1727

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. 1994. Product Design for Manufacture and Assembly, 2. Painos. Marcel Dekker Inc, New York. 540p.

Curtis, M., Boothroyd, D., 2002, DFMA(R) and JCB excavators, 1-9

Edwards, K. 2002 Towards more strategic product for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. Materials and Design 23, pp. 651-656

Eskelinen, H. 2012. Kokoonpanon kehittäminen ja DFMA. Luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Fabricius, F 2003. Desing for Manufacture – DFM. The Technical University of Denmark. The Institute for Product Development, IPU. 59p.

FusionDrive – from 3 MW to offshore class, 2013. tuote-esite. Moventas Gears

FusionDrive, tuote-esite verkossa, viitattu 2.9.2014.
http://www.moventas.com/images/made/images/general/fd_nacelle_maintenanc,

Huhtala, P & Pulkkinen, A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen – Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta.

Huikko, J. 2014. Haastattelu 14.5.2014, Haastattelija Jussi Hiekkänen, haastateltava Jarno Huikko, suunnitteluryhmän vetäjä Moventas Gears Oy.

Huuskonen, M. 2009. Tuotevariaatioiden hallinta vakiointia ja modulointia hyödyntämällä. Diplomityö. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. 117s.

Jokinen, J. 1988. Tykki taipui paperikoneeksi. Valmet paperikoneet Oy – Valmet Oy. Jyväskylä, Gummerus Oy, 291s.

Kolsi, P., 2013. Haastattelu 24.4.2013, Haastattelija Jussi Hiekkänen, haastateltava Pertti Kolsi, suunnittelupäällikkö Moventas Gears Oy.

Lahtela, A. 2013. FusioDrive Introduction, 16p.

Lapinleimu, I. 2007. Ideaalitehdas. 3. painos, Tampereen teknillinen yliopisto, Tuotantotekniikanlaitos, laitosraportti nro. 50. 197s.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. 1. painos. Helsinki, Suomen Robotiikkayhdistys Ry, 180s.

Leskinen, A. 2009. Projektituotteen tuotevariaatio ja sen vaikutukset tuotantoprosessiin. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 77s.

Mertanen, M. 2007, Massaräätälöinnin nykytila suomalaisissa teollisuusyrityksissä. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. 103s.

Moventas Gears & Service, 2014. Esite.

Moventas Gears, koulutusmateriaali, 2008

Moventas Gears, koulutusmateriaali 2013

<http://www.moventas.com/this-is-moventas>

Nurmikolu, K. 2011. Kokoonpanon kehittäminen linjatuotantoon siirryttäessä. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. 68s.

T-DRILL (http://www.t-drill.fi/tmp_t-drill_site_10.asp?sua=1&lang=1&s=57)
[viitattu 2.10.2014]

Tervola, J. 2010. Generaattori ja vaihde yhteen. Metallitekniikka, 10 , s.18-20.

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008. Product Design and Development. 4. painos. Mc Graw Hill. 368p.

Whitney, D. 2004. Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development. New York. Oxford University Press. 517p.